

JONI KOIVUKORPI

LAPIJOEN PÄIVÄKODIN ENERGIASELVITYS

RAKENNUSTEKNIIKAN KOULUTUSOHJELMA

2013

LAPIJOEN PÄIVÄKODIN ENERGIASELVITYS

Koivukorpi, Joni
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2013
Ohjaaja: Heinonen, Jarkko
Sivumäärä: 101
Liitteitä: 2

Asiasanat: aurinkolämmitys, koulurakennukset, energiatehokkuus, energiatodistukset, mallintaminen

Opinnäytetyön aiheena oli tehdä energiaselvitys Eurajoelle rakennettavasta Lapijoen päiväkodista. Tavoitteena oli luoda rutiini selvityksen tekemiseksi ja tukea muuta LVI-suunnittelua mitoitustietojen ja ratkaisujen toimivuuden arvioinnin osalta. Työ tehtiin osana LVI-suunnitteluprojektia Rejlers Oy:lle keväällä 2013.

Energiaselvityksellä osoitetaan rakennuksen energiatehokkuuden ja kesäajan huonelämpötilojen määräysten mukaisuus rakennuslupahakemuksen yhteydessä. LVI-suunnittelun tukemiseksi työssä selvitettiin, miten suunniteltu ratkaisu täyttää sisäilmastolle asetetut vaatimukset. Selvityksen tekemiseksi työssä perehdyttiin perusteellisesti selvityksen sisältöä käsitteleviin lakeihin, asetuksiin ja määräyksiin ja niiden välisiin riippuvuuksiin. Selvityksen tekemiseen liittyvä lainsäädäntö ja määräykset ovat osittain muuttuneet, jonka vuoksi voimassa on sekä uusia että vanhoja käytäntöjä. Teoriaosuudessa käsiteltiin huoneen lämpötaseen perusteita ja auringonsäteilyn pääsyä huoneeseen ja vaikutusta huoneen lämpötilaan. Rakennus mallinnettiin kokonaisuudessaan IDA ICE –simulaatio-ohjelmistolla. Osa laskelmista suoritettiin taulukkolaskentaohjelmilla. Työn tekemisestä laadittiin kaavio, jonka mukaista järjestystä noudattamalla laskelmat etenivät johdonmukaisesti vaihe vaiheelta.

Työn tuloksena laadittiin määräysten mukainen energiaselvitys ja todettiin laskennallisesti sisäilmastolle asetettujen tavoitteiden täyttyminen. Kesäajan huonelämpötiloja tarkasteltaessa huomattiin, että auringon vaikutus huonelämpötilaan jäi verrattain vähäiseksi suureen käyttökuorman vuoksi. Määräysten mukaisten lämpöolojen saavuttamiseksi kohteeseen oli suunniteltava tuloilman jäähdytys. Kokonaisenergiankulutusta laskettaessa todettiin, että tässä tapauksessa määräysten mukaisilla ohjearvoilla laskettuna E-luvulle asetettua tavoitetta on vaikea saavuttaa. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton suunnitteluarvojen käytöllä ja lämmöntuotannon lämpökertoimen tarkemmalla määrittelyllä E-luvun enimmäisarvo alittui helposti. Työ toimii hyvänä aihiona tuleville energiaselvityksille. Kehittämistarvetta todettiin olevan mallinnuksen hyödyntämisessä LVI-suunnittelun apuvälineenä sekä raporttien ja tulosten käsittelyn automatisoinnissa.

ENERGYREPORT OF THE LAPIJOKI DAY CARE CENTER

Koivukorpi, Joni

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Construction Engineering

March 2013

Supervisor: Heinonen, Jarkko

Number of pages: 101

Appendices: 2

Keywords: solar heating, educational buildings, energy efficiency, energy report, modeling

The object of this thesis was to compile an energy report of a day care center to be build to Eurajoki. The goal was to create a general routine for making of energy report and to support HVAC planning by providing general building performance data. The work was made as a part of HVAC planning project for Rejlers Oy in spring 2013.

Energy report is the part of building clearance application that demonstrates that a building's energy efficiency and indoor temperature in summertime meet the requirements defined in building regulations. In this thesis it was also examined how planned solutions fulfill the indoor climate criteria as a support of HVAC-planning. Laws and regulations about energy report as well as connections between them were processed in order to compose a suitable report. These laws and regulation are partially updated, which leads to a situation where there are both old and new customs in effect. The basics of a room's heat balance and solar radiation's entry into a room and effect on room temperature were presented in the theory section of this thesis. The building was modeled as a whole with IDA ICE –simulation software. Some of the calculations were carried out with table calculations software. A diagram of the progress of the work was composed which by following the calculations proceeded consistently step by step.

As a result of this work a complete energy report was made and ventilation system was confirmed to meet the demands set for indoor climate. It was noticed that solar radiation's effect on summertime indoor temperature was relatively small because of substantial heat load caused by humans. To meet the indoor temperature regulations supply air had to be cooled. When calculating overall energy consumption it was noted that in this case the regulation are hard to meet when directive variables are used in calculations. With more accurate definition of ventilation system's heat recovery and heat pump's efficiency the maximum value of E-number was easily met. This thesis works as a good frame for energy reports yet to be made. In terms of development modeling could have a bigger role in HVAC-planning. Also, the processing of simulation's result needs to be more automated.

SISÄLLYS

1	Johdanto.....	1
2	Lait, asetukset, rakentamismääräykset ja oppaat	2
2.1	Direktiivit.....	2
2.2	Lait ja asetukset.....	2
2.3	Rakentamismääräykset	4
2.3.1	RakMk C4.....	5
2.3.2	RakMk D2	6
2.3.3	RakMk D3	6
2.3.4	RakMk D5	7
2.4	Tasauslaskentaopas 2012.....	8
2.5	Sisäilmaluokitus 2008	9
2.6	D3 laskentaopas	10
2.7	Lakien ja määräysten voimassaolo.....	10
3	Rakennuksen lämpötase	12
3.1	Lämpötase.....	12
3.2	Dynaaminen laskenta	13
3.3	Lämpötila.....	13
3.4	Auringon vaikutus.....	14
4	Menetelmät	22
4.1	Rakennuksen lämpöolojen ja energiankulutuksen laskenta	22
4.2	Aurinkolämpöjärjestelmän tuoton laskeminen	22
4.3	IDA-ICE:n esittely	26
4.4	Prosessin kuvaus	28
5	Mallintaminen	30
5.1	Kohde	30
5.1.1	Perustiedot	30
5.1.2	Suunniteltu käyttö	32
5.1.3	Talotekniikka	33
5.2	Mallin tekeminen ja alkutilanteen lähtötietojen syöttö	33
5.2.1	Muoto ja rakenteet	33
5.2.2	Vuotoilma ja kylmäsillat	37
5.2.3	Ympäristö ja ilmasto	38
5.2.4	Vyöhykejako	39
5.2.5	Talotekniikka ja sen asetusarvot	42
5.2.6	Käyttö ja kuormat.....	47

6	Simuloinnit.....	48
6.1	Tyypitilojen valinta	48
6.1.1	Alkutilanteen simulointi	48
6.1.2	Tulokset ja johtopäätökset.....	48
6.2	Kesäajan huonelämpötilat, D3 2012	51
6.2.1	Tavoite.....	51
6.2.2	Lämpökuorman vähentäminen	52
6.2.3	Lämpökuorman poistaminen koneellisesti	58
6.2.4	Havainnot.....	63
6.3	Sisäilmaluokitus	65
6.3.1	Valittu luokka ja tavoitteet	65
6.3.2	Laskelmat.....	66
6.3.3	Tulokset	66
6.4	Tasauslaskenta	69
6.4.1	Lähtötiedot.....	69
6.4.2	Laskelmat.....	71
6.4.3	Tulokset	72
6.5	Kokonaisenergiankulutus	73
6.5.1	Lähtötiedot.....	74
6.5.2	Aurinkolämpöjärjestelmän tuotto	85
6.5.3	Simuloinnit	87
6.5.4	Tulokset	91
6.6	Mitoitustilanteiden tehot.....	93
6.6.1	Lähtötiedot.....	93
6.6.2	Simuloinnit	94
6.6.3	Tulokset	94
6.7	Energiatodistus.....	94
6.7.1	Lähtötiedot.....	95
6.7.2	Simulaatio ja tulosten käsittely	96
7	Johtopäätökset.....	98
	LÄHTEET	100

LIITTEET

Sisäilmaluokituksen kuvaajat

Lapijoen päiväkodin energiaselvitys

1 JOHDANTO

Rakennusten energiankulutusta säättävä lainsäädäntö ja määräykset ovat uudistumassa. Uudistuksella halutaan ohjata rakennusten energiantehokkuutta ja kulutusta siten, että Euroopan unionin jäsenten yhteiset tavoitteet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi, uusiutuvien energialähteiden osuuden nostamiseksi ja energian loppukulutuksen vähentämiseksi toteutuisivat. Samalla halutaan kuitenkin varmistaa, että parannuksia ei tehdä sisäilmaston kustannuksella. Tämän vuoksi rakennuksen toimintaa erityisesti jäähdytyskautena on arvioitava aiempaa tarkemmin. Tämä vuorostaan asettaa erityisiä vaatimuksia laskennassa käytettäville laskentatyökaluille.

Jotta suunnitellun ratkaisun toimivuutta voitaisiin arvioida tarvitaan ennen kaikkea luotettavaa tietoa, vanhaa tai uutta. Vanhassa, yleensä kokemuseräisessä tiedossa on ongelmana, että se rajoittuu mittaustilanteen tapaukseen eikä muuttujiin voida vaikuttaa. Kun arvioidaan eri järjestelmien välistä keskinäistä vuorovaikutusta tilanne vaikeutuu entisestään, kun joudutaan yhdistämään eri lähteistä koottua tietoa. Mallintaminen ja mallin simulointi ovat apuvälineitä, joilla saatu tieto on aina tapauskohtaista ja siten sellaisenaan sovellettavaa. Simuloinnin rajoittavina tekijöinä voidaan pitää mallin tarkkuutta, laatua ja tulosten tulkintaa.

Energian kulutuksen, energiatehokkuuden ja sisäilmaston lämpöolojen määräysten mukaisuus todetaan suunnitteluvaiheessa tehtävässä energiaselvityksessä. Lapijoen päiväkotia on noin 1000 m² rakennus, jota käyttää parhaimmillaan 100 lasta ja 23 työntekijää. Päiväkodissa on vuorohoito-osasto, joka on käytössä ympärivuorokauden ja seitsemän päivää viikossa. Kohteen sisäilmastolle on asetettu erityisiä vaatimuksia. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tehdä määräysten mukainen energiaselvitys Eurajoelle rakennettavan Lapijoen päiväkodin rakennuslupahakemuksen liitteeksi osana LVI-suunnittelu projektia. Työ tehdään Rejlers Oy:lle. Energiaselvityksen laskelmat toteutetaan käytännössä kokonaan simuloimalla IDA ICE -ohjelmistolla. Rakennuksen mallia ja siitä saatavaa tietoa hyödynnetään myös muussa LVI-suunnittelutyössä energiaselvityksen ohessa.

2 LAIT, ASETUKSET, RAKENTAMISMÄÄRÄYKSET JA OPPAAT

2.1 Direktiivit

Euroopan unionin ilmasto- ja energiapolitiikan keskeisiä sitoumuksia ovat kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen 20 prosentilla, uusiutuvien energialähteiden osuuden nostaminen 20 prosenttiin energian loppukulutuksesta sekä ohjeellisena energiatehokkuuden parantaminen 20 prosentilla vuoteen 2020 mennessä. Näiden tavoitteiden turvaamiseksi Euroopan parlamentti ja neuvosto antoi uudelleen laaditun rakennusten energiatehokkuusdirektiivin 2010/31/EU aiemman direktiivin 2002/91/EY tilalle. (1)

Direktiivissä säädetään vaatimuksista, jotka koskevat rakennusten ja rakennuksen osien kokonaisenergiatehokkuuden laskentamenetelmän yleistä yhteistä kehystä, vähimmäisvaatimusten soveltamista uusien rakennusten ja uusien rakennuksen osien energiatehokkuuteen, vähimmäisvaatimusten soveltamisesta energiatehokkuuteen, kansallisia suunnitelmia lähes nollaenergiarakennusten lukumäärän kasvattamiseksi, rakennusten tai rakennuksen osien energiasertifiointia, rakennusten lämmitys- ja ilmastointijärjestelmien säännöllisiä tarkastuksia ja energiatehokkuustodistusten ja tarkastusraporttien riippumattomia valvontajärjestelmiä. (2)

2.2 Lait ja asetukset

487/2007 on voimassa oleva laki rakennuksen energiatodistuksesta. Laissa on säädetty rakennuksen energiantodistukselle ja todistuksen tekemiselle asetut vaatimukset. Laki rakennuksen energiatodistuksesta 487/2007 kumoutuu 1.6.2013, kun uusi laki 50/2013 astuu voimaan. Uudella lailla toimeenpannaan direktiivin 2010/31/EU energiatodistuksia koskevat artikkelit.

Rakennuksen energiatodistuslakia tarkennetaan energiatodistusasetuksella. 765/2007 on voimassa oleva ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. Asetuksessa on määritetty, miten energiatehokkuus määritellään ja miten rakennuksen energiantarveluku, ET-luku ($\text{kWh/br-m}^2\text{,a}$) lasketaan. Rakennus energiatehokkuusluokka A-G määritellään ET-luvun perusteella käyttötarkoitukseluokittain. Ase-

tuksessa on myös esitetty lomake, jonka mukaan energiatodistus on annettava. Asetuksen 765/2007 mukainen energiatehokkuusluvun laskenta noudattaa Suomen rakennusmääräyskokoelman osassa D5 (2007) laskentamenetelmää ja asetuksen liitteissä määriteltyjä ohjeita ja lähtöarvoja. (3)

Lain 50/2013 nojalla ympäristöministeriön asetus rakennuksen energistodistuksesta säädetään uudelleen, jonka johdosta 765/2007 kumoutuu 1.6.2013 uuden asetuksen 176/2013 tullessa voimaan. Uuden energiatodistusasetuksen mukainen energiatodistuksen laskenta noudattaa pääosin ympäristöministeriön asetusta rakennusten energiatehokkuudesta D3 (2012) ja Suomen rakentamismääräyskokoelmassa osassa D5 (2012) esitettyjä laskentasääntöjä. (4) Energiatodistuksen asetuksen muutokset ovat siis käytännössä samat kuin asetuksessa rakennusten energiatehokkuudesta D3. Merkittävä muutos on, että rakennuksen energiantarpeen sijaan lasketaan rakennuksen kokonaisenergiankulutus. Kokonaisenergian kulutusta kuvaa E-luku (kWh/m²,a), joka saadaan kun laskennallinen ostoenergiankulutus painotetaan asetuksessa 9/2013 määrätyllä energiamuotokertoimella ja jaetaan rakennuksen lämmitetyllä nettoalalla. (4) Energiamuotokertoimet on esitetty taulukossa 2.1.

Taulukko 2.1 Energiamuotokertoimet

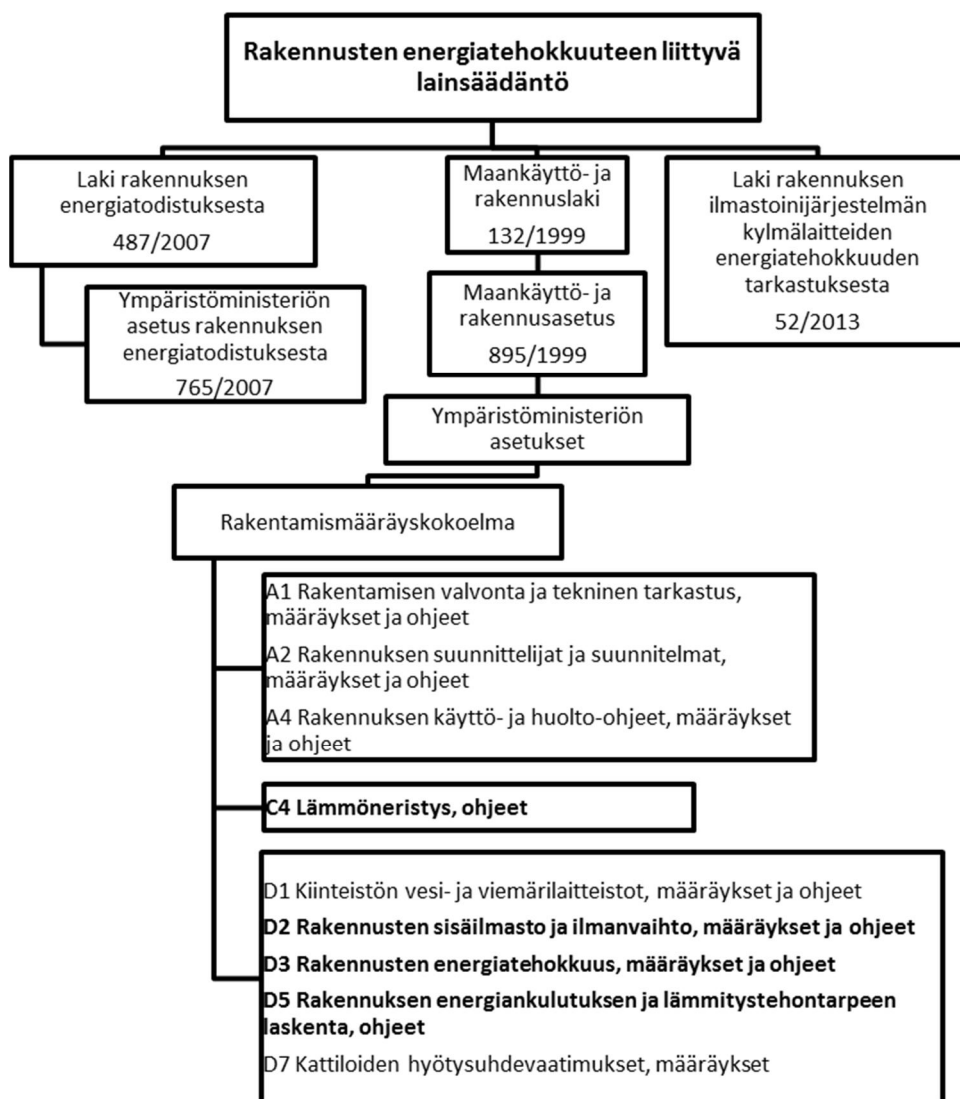
Sähkö	1,7
Kaukolämpö	0,7
Kaukojäähdytys	0,4
Fossiiliset polttoaineet	1,0
Rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet	0,5

2.3 Rakentamismääräykset

Suomen rakentamismääräyskokoelma on ympäristöministeriön maankäyttö ja rakennuslain 132/1999 nojalla ylläpitämä kokoelma rakentamista koskevista ohjeista ja velvoittavista säännöksistä.

”Ympäristöministeriö ylläpitää Suomen rakentamismääräyskokoelmaa, johon koostaan tämän lain nojalla annetut rakentamista koskevat säännökset ja rakentamismääräykset sekä ministeriön ohjeet. Suomen rakentamismääräyskokoelmaan voidaan koota myös valtion muiden viranomaisten antamia rakentamista koskevia määräyksiä.” (9)

Säännöksillä ja ohjeilla tarkennetaan maankäyttö- ja rakennuslaissa määritellyjä yleisiä rakentamista koskevia edellytyksiä, olennaisia teknisiä vaatimuksia sekä rakentamisen lupamenettelyä ja viranomaisvalvontaa. Lainsäädännön, asetusten ja määräyskokoelman hierarkia on esitetty kuvassa 2.1. Energiaselvityksen kannalta tärkeimmät, kuvassa lihavoidut, määräykset käsitellään tarkemmin tässä luvussa.



Kuva 2.1 Kaavio lainsäädännön rakenteesta ja määräyksistä

2.3.1 RakMk C4

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C4, Lämmöneristys, Ohjeet 2003 esitetyt ohjeet koskevat rakennuksen rakenteiden lämmönläpäisykertoimien määrittämistä ja lämpöeristysten suunnittelua ja toteutusta. C4 uudistuu 1.6.2013 samaan aikaan lain 50/2013, asetuksen 176/2013 ja D5 2012 kanssa. C4 2012 on saatavilla luonnoksena. Uudistuksen myötä C4:n mukainen menetelmä rakenteiden lämmönläpäisykertoimien määrittämiseksi muuttuu. (5; 6)

C4 2003:ssa on esitetty erilaisten rakennusaineiden ominaisuuksia, kuten kuivatiheys, lämmönjohtavuus, kosteuspitoisuus ja normaalin lämmönjohtavuus. C4 2012:n

vastaavassa taulukossa on kerrottu rakennusaineiden tiheys, ominaislämpökapasiteetti ja lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo. (5; 6)

2.3.2 RakMk D2

D2 2012 on ympäristöministeriön säätämä määräys ja ohje rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. D2:ssa on säädetty sisäilmastoa ja ilmanvaihtojärjestelmää koskevista vaatimuksista. D2:ssa on myös ohjeita, miten määräysten mukaiset vaatimukset on mahdollista saavuttaa. (7) Määräykset ja ohjeet rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta uudistuivat samaan aikaan D3 2012 kanssa 1.7.2012 määräysten yhdenmukaistamisen vuoksi. (8)

2.3.3 RakMk D3

Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta on annettu Suomen rakennusmääräyskokoelman osana D3, Rakennusten energiatehokkuus, Määräykset ja ohjeet 2012 rakennuslain (132/1999) 13 §:n nojalla. Voimassa oleva asetus rakennusten energiatehokkuudesta astui voimaan 1.7.2012.

D3:ssa määritetään uusien rakennusten energiatehokkuudelle asetetut vaatimukset, energialaskennassa käytettävät lähtötiedot ja laskennan säännöt. D3:ssa kerrotaan myös miten rakennuksen määräystenmukaisuus osoitetaan D3:n osalta rakennusluvhakemuksen yhteydessä.

D3:ssa on asetettu vaatimukset rakennusten energiatehokkuudelle. Energiatehokkuusvaatimus on määritetty E-luvun raja-arvoina käyttöluokittain eri tyyppisille rakennuksille. Energialaskennan lähtöarvoina on käytettävä D3:ssa esitettyjä säätietoja, sisäilmaston olosuhteita, rakennuksen ja sen järjestelmien käyttö- ja käyntiaikoja sekä sisäisiä lämpökuormia. Muut energialaskennan tarvitsemat lähtötiedot otetaan rakennuksen suunnitteluasiakirjoista. Käyttötarkoituseroja 1 ja 9 lukuun ottamatta vaatimustenmukaisuuden osoittamiseksi on myös osoitettava eri tilatyypin kesäajan huonelämpötilojen vaatimustenmukaisuus. (7 ss. 8,18) D3 2012 mukaan kesäajan huonelämpötila standardikäytöllä ei saa ylittää 25°C –astetta yli 150°C-hastetuntia. Tämä ei kuitenkaan kumoa D2 2012 asettamia vaatimuksia sisäilmastolle.

Ostoenergia on laskettava D3:ssa esitettyjen laskentasääntöjen mukaisesti. Rakennuksessa olevat erikoistilat, kuten ravintolat ja ruokalat huomioidaan laskennassa rakennuksen pääasiallisen käyttötarkoituksen mukaisilla lähtöarvoilla. Rakennuksissa, joissa ei ole jäähdytystä tai jäähdytystä on vain yksittäisissä tiloissa energialaskenta voidaan tehdä D5 2012 mukaisella kuukausitason menetelmällä. Kesäajan lämpötilojen laskenta on tehtävä dynaamisella laskentatyökalulla. Laskennassa on mahdollista käyttää D3:n vaatimukset täyttävää laskentatyökalua. D3:n mukaan laskentatyökalu voidaan validoida siihen tarkoitettujen SFS EN, CIBSE tai ASHRAE standardien mukaan. (7 ss. 22,27)

Määräystenmukaisuuden osoittamiseksi rakennuksesta on laadittava energiaselvitys. Energiaselvitys sisältää yleensä seuraavat tarkastelut (7 s. 26):

- rakennuksen kokonaisenergiankulutus, E-luku
- energialaskennan lähtötiedot ja tulokset
- kesäaikaisen huonelämpötilat ja tarvittaessa jäähdytysteho
- rakennuksen lämpöhäviöiden määräystenmukaisuuden osoittaminen
 - rakennusosien lämmönläpäisykertoimien enimmäisarvot
 - lämpöhäviöiden tasauslaskenta
- rakennuksen lämmitysteho mitoitusilanteessa
- rakennuksen energiatodistus

Määräys on tullut voimaan 1.7.2012 ja korvaa ympäristöministeriön 22.12.2008 antaman asetuksen rakennusten energiatehokkuudesta D3 2010:n ja 22.12.2008 antaman asetuksen rakennusten lämmöneristyksestä C3 2010:n. Ympäristöministeriön päätöksellä D3 2012:een tehdään asetuksen 5/13 mukaiset muutokset, jotka tulevat voimaan 1.6.2013.

2.3.4 RakMk D5

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, Ohjeet 2012 esitetään kuukausitason laskentamenetelmä lämmityksen energiantarpeen, ostoenergiankulutuksen, kokonaisenergiankulutuksen ja lämmitystehon laskentaan. Menetelmä soveltuu kohteisiin, joissa ei ole

jäähdytystä tai jäähdytystä on vain yksittäisissä tiloissa. D5 2012 ei ole virallisesti julkaistu ja on saatavilla 14.3.2012 päivättyä luonnoksena. Tällä hetkellä on voimassa D5 2007. D5 2012 tulee voimaan lain 50/2013 ja asetuksen 176/2013 tullessa voimaan. Voimassaolevan energiantodistuksesta annetun asetuksen 765/2007 mukainen laskenta viittaa D5 2007:een.

2.4 Tasauslaskentaopas 2012

Tasauslaskenta tehdään osana D3 2012 mukaista energiaselvitystä lämpöhäviöiden määräystenmukaisuuden osoittamiseksi. Lämpöhäviöitä rajoitetaan hyvän energiatehokkuuden saavuttamiseksi. Laskenta käsittää rakennuksen vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon lämpöhäviöt. Rakennuksen lämpöhäviöiden enimmäisarvot on määritetty D3 luvussa 2.5.

Tasauslaskennassa käytetään suunnitellun rakennuksen koko- ja geometriatietoja. Tietojen perusteella lasketaan rakennuksen lämpöhäviö suunnitelluilla arvoilla ja D3:ssa esitetyillä vertailuarvoilla. Lämpöhäviöitä on mahdollista tasata. Esimerkiksi vertailuarvoa suuremman yläpohjan U-arvon voi kompensoida tehostamalla ilmanvaihdon lämmöntalteenottoa lämpöhäviövaatimusten täyttämiseksi. Rakenneosien lämmönläpäisykertoimille on lisäksi määritetty enimmäisarvot. Loma-asuntoja lukuun ottamatta suunnitellun ratkaisun lämpöhäviöt eivät saa olla vertailuratkaisua suuremmat. (10)

Tasauslaskentaopas 2012 käsittelee D3 2012 mukaista lämpöhäviön vaatimuksenmukaisuuden osoittamista. Oppaassa käsitellään yksityiskohtaisesti lämpöhäviöiden tasauslaskenta, vaipan ilmanpitävyyden osoittaminen ja lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta. Opas sisältää esimerkkejä eri rakennustyyppien tasauslaskelmista. (10) Ympäristöministeriön sivuilla on ladattavissa D3 Tasauslaskin 2012 – niminen taulukkolaskenta, jonka avulla tasauslaskenta voidaan tehdä ja josta saadaan tarvittavat tulosteet lämpöhäviöiden määräystenmukaisuuden osoittamiseksi.

2.5 Sisäilmaluokitus 2008

Sisäilmaluokitus 2008 on tarkoitettu käytettäväksi rakennus- ja taloteknisen suunnittelun ja urakoinnin sekä rakennustarviketeollisuuden apuna. Ohjekortin avulla voidaan määrittää sisäilmastolle erilaisia tavoitetasoja. Tavoitetasojen mukaiset tavoitearvot on jaettu sisäilma luokkiin S1, S2 ja S3, joista S1 on paras ja S3 lakien ja vaatimusten mukainen. (11) Sisäilmaluokkien kuvaukset on esitetty ohjekortissa seuraavalla tavalla:

S1: Yksilöllinen sisäilmasto

Tilan sisäilmanlaatu on erittäin hyvä eikä tiloissa ole havaittavia hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat viihtyisät eikä vetoa tai yllilämpenemistä esiinny. Tilan käyttäjä pystyy yksilöllisesti hallitsemaan lämpöoloja. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset erittäin hyvät ääniolosuhteet ja hyviä valaistusolosuhteita tukemassa yksilöllisesti säädettävä valaistus.

S2: Hyvä sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu on hyvä eikä tiloissa ole häiritseviä hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat hyvät. Vetoa ei yleensä esiinny, mutta yllilämpeneminen on mahdollista kesäpäivinä. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset hyvät ääni- ja valaistusolosuhteet.

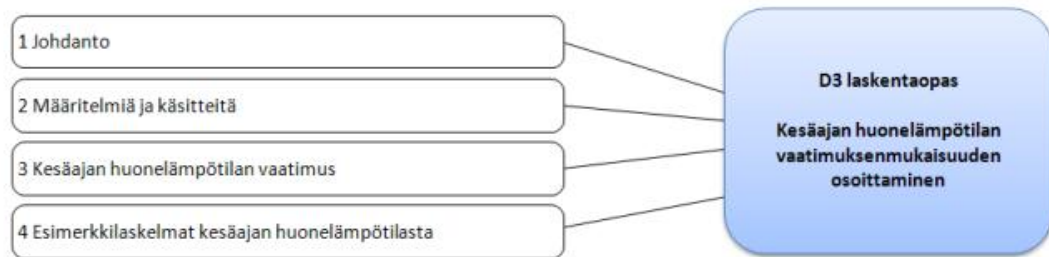
S3: Tyydyttävä sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu ja lämpöolot sekä valaistus- ja ääniolosuhteet täyttävät rakentamismääräysten vähimmäisvaatimukset.

Eri suureiden tavoite- ja suunnitteluarvot voidaan valita eri laatuluokista. Tarvittaessa jonkin suureen arvo voidaan määritellä tapauskohtaisesti.

2.6 D3 laskentaopas

D3 laskentaopas tarkoittaa, miten D3 2012 mukainen kesäajan huonelämpötilojen vaatimuksen mukaisuuden osoittaminen voidaan tehdä. Laskentaoppaan on laatinut Optiplan Oy ympäristöministeriön toimeksiannosta. Opas selventää RakMk:n osassa D2 (2012) esitettyjä vaatimuksia. (12) Kuvassa 2.2 on esitetty oppaan rakenne.

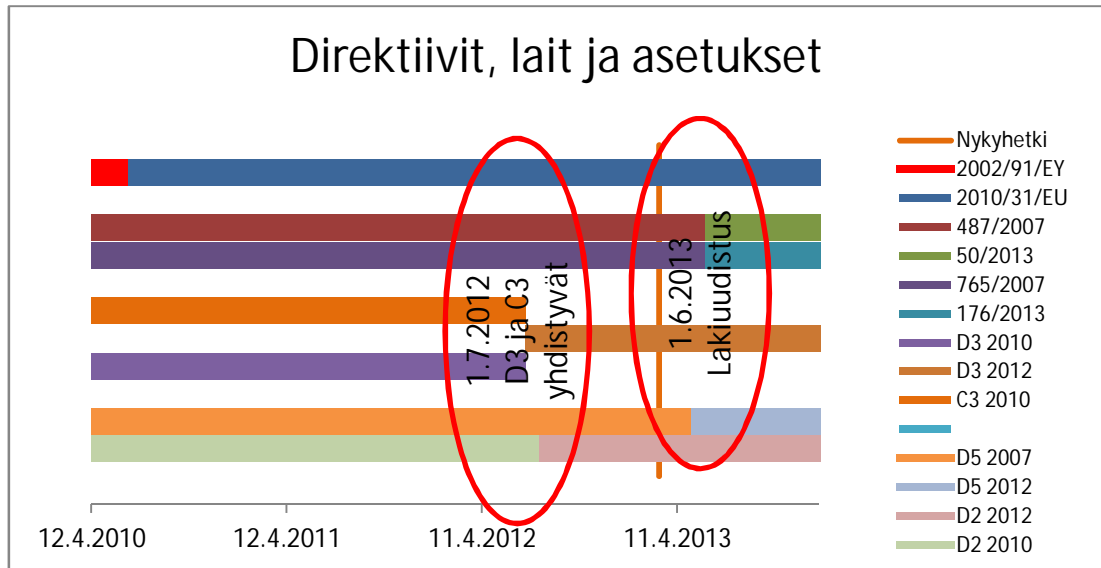


Kuva 2.2 D3 laskentaoppaan rakenne (12 s. 4)

Oppaassa käydään läpi huonelämpötilan hallinnan periaatteita ja laskennassa huomioitavia lähtötietoja, sekä erityyppisten tilojen huonelämpötilojen esimerkkilaskelmia.

2.7 Lakien ja määräysten voimassaolo

Tällä hetkellä määräysten uudistuminen on murrosvaiheessa. Uudistuneet laki ja asetus rakennuksen energiatodistuksesta tulevat voimaan vasta 1.6.2013, kun asetus rakennusten energiatehokkuudesta, D3 2012, on ollut voimassa jo 1.7.2012 lähtien. Tämä tarkoittaa, että nyt käsiteltävissä rakennuslupahakemuksen liitteenä esitettävä rakennuksen kokonaisenergiankulutuksen laskenta tehdään D3 2012 mukaisella tavalla, mutta energiatodistus noudattaa vanhaa asetusta 765/2007 ja siinä määritettyjä ohjeita. Kuvassa 2.3 on esitetty aikajanalla, miten eri lait ja asetukset ovat voimassa.



Kuva 2.3 Lakien ja asetusten voimassaolo

Kuvasta nähdään, miten C3 2010 ja D3 2010 ovat yhdistyneet D3 2012:ksi. Uusi laki 50/2013 ja asetus 176/2013 rakennusten energiatodistuksesta ja D5 2012 tulevat voimaan yhtä aikaa 1.6.2012.

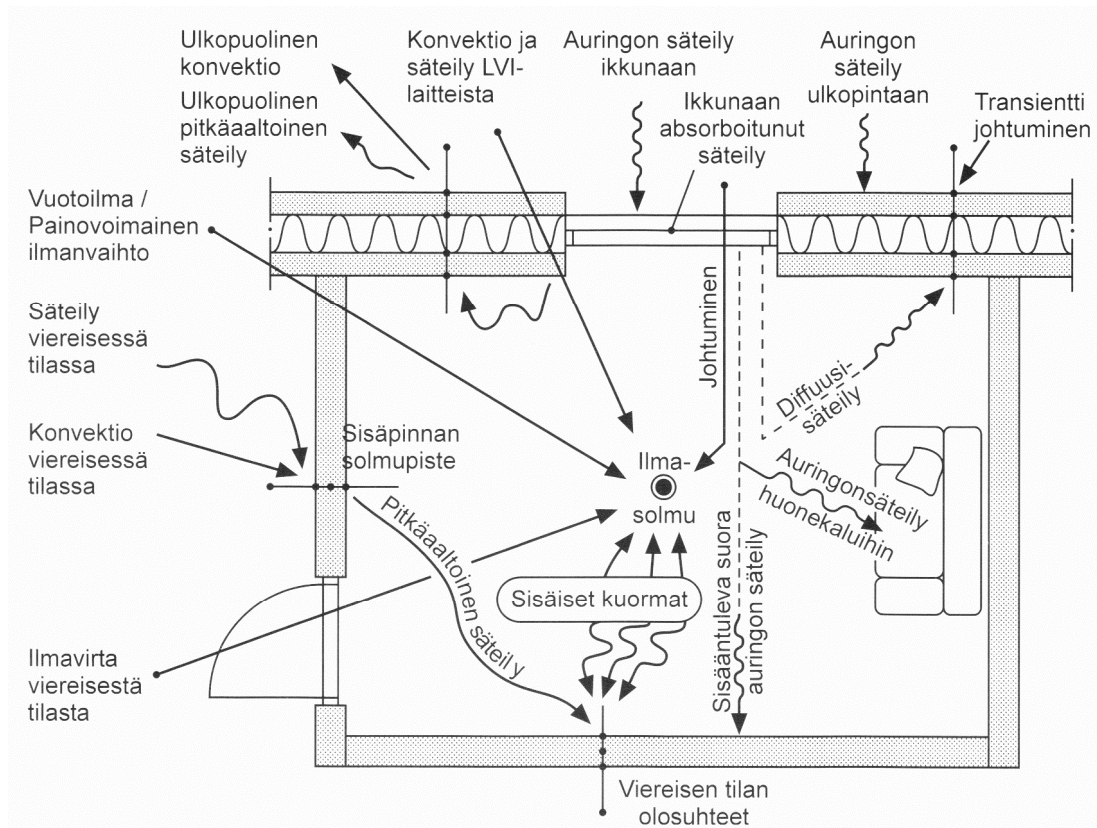
3 RAKENNUKSEN LÄMPÖTASE

3.1 Lämpötase

Lämmitystarvetta laskettaessa rakennuksen oletetaan olevan stationäärisessä, eli jatkuvuustilassa. Jäähdytystarpeeseen vaikuttaa kuitenkin oleellisesti lämmön varastoituminen rakenteisiin, vaihteleva auringonsäteilyn määrä ikkunoista ja pintojen välinen lämmönsiirtyminen. Rakenteiden lämpökapasiteetista riippuen stationääritilan saavuttaminen kestää jopa kymmeniä tunteja lämpötehoissa tai lämpötiloissa tapahtuneen muutoksen jälkeen. Jäähdytystarpeen määrittelemiseksi on ratkaistava huoneen lämpötase. (13 ss. 165, 168)

Huoneen lämpötaseella tarkoitetaan huoneeseen sisään tulevien, siellä syntyvien ja huoneesta poistuvien lämpövirtojen matemaattista käsittelyä. ”Tase”-sana tulee energian häviämättömyydestä. Lämpötaseen keskeisiä osia ovat auringon säteily, sisäiset kuormat, kuten ihmiset, laitteet ja valaistus, ulko- ja tuloilman lämpötilat ja kosteudet, ilmavirtaukset, huoneen seinärakenteet ja niiden lämmönvarastoitumiskyky sekä kosteuden varastoituminen. Kaikki nämä tekijät ovat keskinäisessä vuorovaikutussuhteessa. Lopputuloksena on monimutkainen kokonaisuus, mikä johtaa siihen että aivan pienimpiä yksityiskohtia ei aina kannata kuvata. Merkittävimmät laskentavirhettä aiheuttavat tekijät on pyritty poistamaan laskentaohjelmien avulla. (13 ss. 165-166) Huoneen lämpötasetta on kuvattu kuvassa 3.1.

Huoneen lämpötaseen ratkaisemiseksi huoneen ilmalle ja pinnoille laaditaan omat lämpötaseyhtälöt. Kun kaikille pinnoille ja rakenteiden lämpökapasiteeteille on laadittu lämpötaseyhtälö, saadaan epälineaaristen yhtälöiden ryhmä, joka ratkaistaan sopivalla matemaattisella menetelmällä (13 s. 175).



Kuva 8.1 Huoneenjähdytystarpeeseen vaikuttavia tekijöitä.

Kuva 3.1 Huoneen lämpötase (13 s. 166)

3.2 Dynaaminen laskenta

Rakenteiden aiheuttama hitaus stationääritilan saavuttamisessa tarkoittaa, että lämpötase on käytännössä joka hetki eri. Dynaamisella laskentamenetelmällä tarkoitetaan, että laskenta pystyy ottamaan huomioon rakenteiden lämmönvarausominaisuuden ajasta riippuvana (7 s. 27).

3.3 Lämpötila

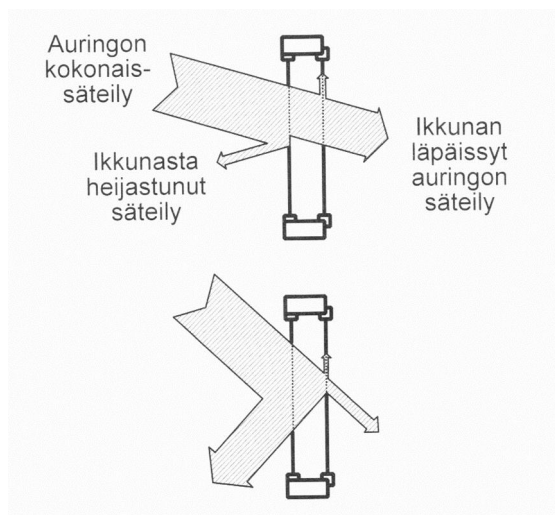
Oikean lämpötilan perustana pidetään lämpötasapainoa. Lämpötasapainossa kehon aineenvaihdunnan tuottama lämpö on yhtä suuri kuin sen ympäristöönsä luovuttama lämpö. Jos keho tuottaa enemmän kuin luovuttaa, ihminen aistii lämpötilan kuumaksi. Jos keho tuottaa vähemmän kuin luovuttaa, ihminen aistii lämpötilan kylmäksi. Lämmönluovutuksen määrää voidaan säädellä vaatetuksella ja huoneen lämpötilalla. Lämpö siirtyy ympäristöön säteilemällä ja konvektiona. Lämmön siirtymiseen vai-

kuttaa siis huoneen ilman lämpötila ja laitteiden ja pintojen lämpötilat. Eri lämmön-siirtymistavat ja lämpötilat vaihteluineen ja epätasaisuuksineen muodostavat lämpö-oloiksi kutsutun ihmisen aistiman kokonaisuuden. (13 s. 1)

3.4 Auringon vaikutus

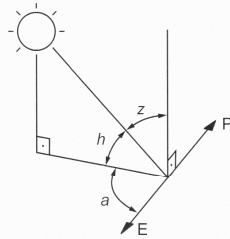
Auringon aiheuttama lämpökuorma johtuu auringon säteilystä. Tavallinen ikkuna läpäisee hyvin lyhytaaltoista auringon säteilyä. Osuessaan ikkunaan osa säteilystä heijastuu, osa absorboituu ja osa läpäisee ikkunan jatkaen matkaansa huoneen pintoihin. Huoneen pintojen lämpösäteily on pitkäaaltoista, joka vuorostaan ei läpäise ikkunalasia juuri lainkaan. (13 s. 179)

Ikkunoihin kohdistuu suoraa säteilyä, heijastunutta säteilyä ja hajasäteilyä. Ikkunan heijastaman säteilyn määrä riippuu siitä, missä kulmassa säteily ikkunaan osuu. Koh-tauskulman vaikutusta on havainnollistettu kuvassa 3.2. Mitä kohtisuoremassa kulmassa säteily osuu ikkunaan, sitä pienempi osuus siitä heijastuu. (13 s. 181)

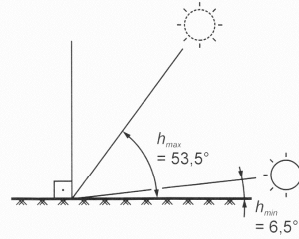


Kuva 3.2 Säteilyn läpäisy ja heijastuminen ikkunassa (13 s. 181)

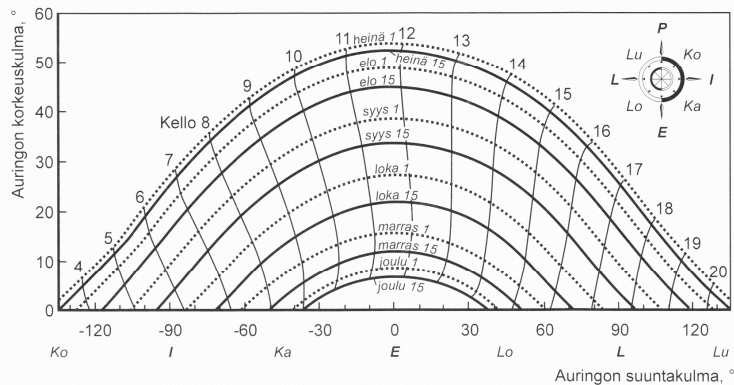
Ajallisesti auringon korkeuskulma on pienimmillään tammikuussa ja suurimmillaan heinäkuussa. Ilmansuunnista korkeuskulma on pienimmillään idässä ja lännessä, eli auringon nousun ja laskun aikaan, ja suurimmillaan etelässä eli keskipäivällä. Suun-takulman vaihtelu tarkastelujaksolla on esitetty kuvassa 3.3.



Kuva 8.16 Auringon aseman määrittävät kulmat.



Kuva 8.17 Auringon suurimman korkeuskulman minimi ja maksimi Helsingissä.

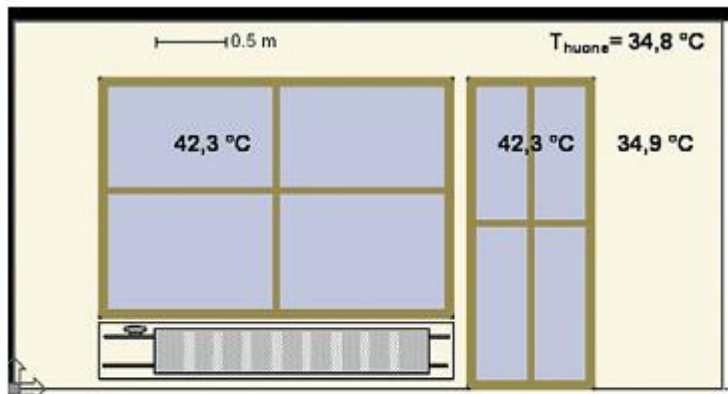


Kuva 8.18 Auringon asema kuukaudesta ja aurinkoaikasta riippuvana 60 leveyspiirillä. Helsingissä kellon ajasta on vähennettävä noin 20 minuuttia talvella ja 1 tunti 20 minuuttia kesällä, jotta saataisiin kuvassa käytetty aurinkoaika.

Kuva 3.3 Auringon korkeuskulma (13 s. 184)

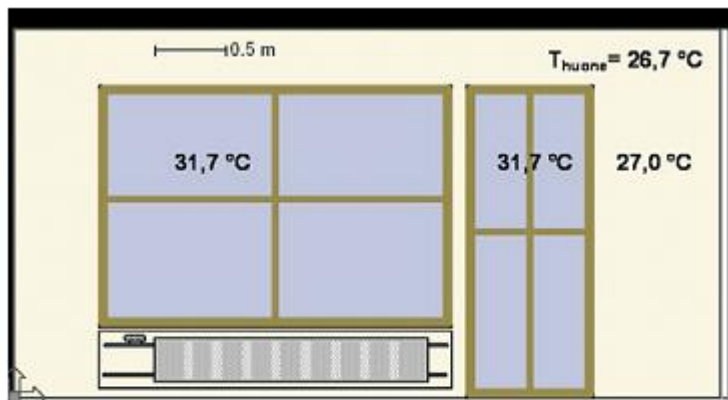
Auringon suoran säteilyn intensiteetti on siis suurimmillaan korkeuskulman ollessa pienimmillään.

Viihtyisät lämpöolot voidaan saavuttaa jopa yksin auringonsuojauksen keinoin ilma erillistä jäähdytystä. Lämpökuorman vähentämisen lisäksi auringonsuojauksella on myös tärkeä rooli valaistuksen hallinnassa. (14) Kuvassa 3.4 nähdään, miten auringonsuojauksella ja tuloilman jäähdytyksellä voidaan vaikuttaa huoneen lämpötiloihin.



Kuva 5.

Kesäpäivänä länteen suunnattujen ikkunoiden sisäpinta lämpe-
ne erityisesti kirkkaiden lasien tapauksessa ($42,3\text{ °C}$) vaikka
huoneessa olisikin jäähditys 20 W/m^2 ; seinän pintalämpötila
 $34,9\text{ °C}$ on lähes sama kuin huonelämpötila $34,8\text{ °C}$.



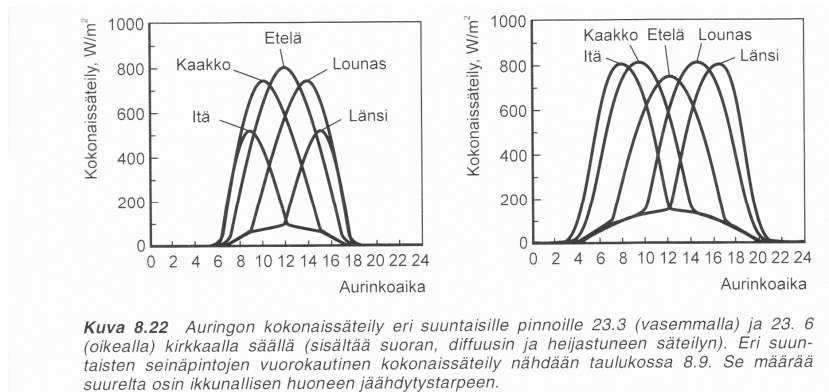
Kuva 6.

Viihtyisät olosuhteet saavutetaan alentamalla ikkuna sisäpin-
nan lämpötila käyttämällä tehokkaita auringonsuojalaseja
(muut lähtöarvot samoja kuin kuvassa 5) ja jäähdyttämällä huo-
neilmaa (20 W/m^2).

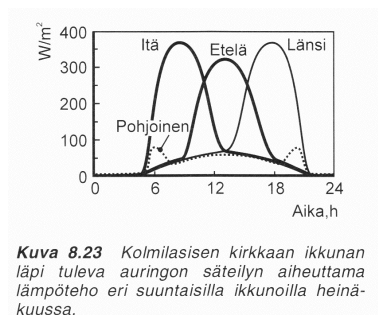
Kuva 3.4 Auringonsuojaikkuna (15 s. 3)

Auringolta suojautumisen tarve vaihtelee vuoden ja vuorokaudenajasta riippuen. Eu-
rajoki sijaitsee 61° leveyspiirillä, jossa auringon korkeuskulma vaihtelee vuodenmit-
taan välillä $7-54^\circ$ astetta. Tämä pitää huomioida auringonsuojausta valitessa.

Keväällä suurin kokonaissäteily kohdistuu etelän suuntaisille pinnoille. Kesäaikaan suurin kokonaissäteily kohdistuu vuorostaan idän, kaakon, lounaan ja etelän suuntaisille pinnoille. (13 s. 188) Kuvasta 3.5 nähdään miten auringon korkeuskulman ja päivän pituus vaikuttavat eri suuntaisille kohdistuvaan kokonaissäteilymäärään 23.3 ja 23.6. Kuvasta 3.6 nähdään, että auringon heinäkuussa aiheuttama lämpöteho on suurimmillaan korkeuskulman ollessa matalimmillaan.

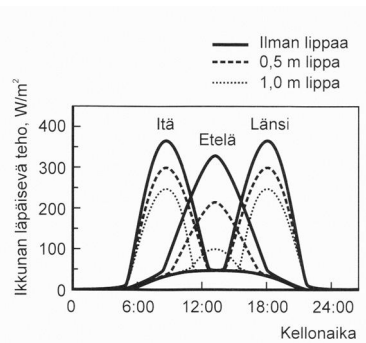


Kuva 3.5 Säteily eri ilmansuunnille (13 s. 188)



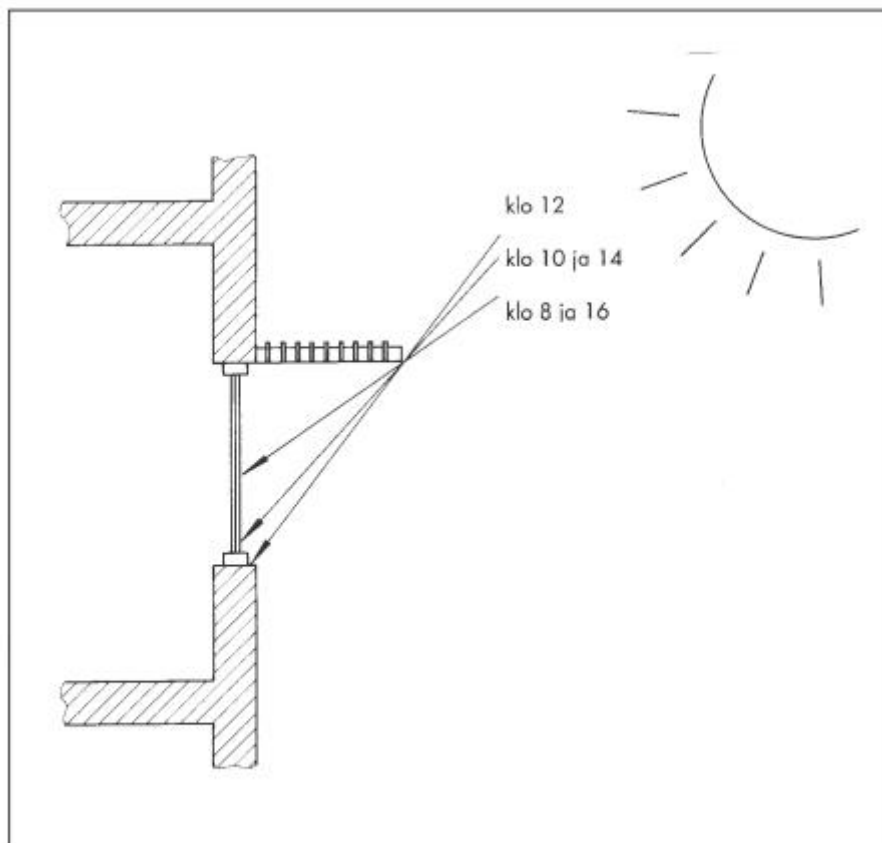
Kuva 3.6 Auringon säteily ikkunan läpi (13)

Korkeuskulman ollessa suuri voidaan auringonsuojaus järjestää ikkunan yläpuolella olevalla lipalla. Kuvasta 3.7 nähdään, että lipan vaikutus jää vähäiseksi idän ja lännen suuntaisilla ikkunoilla. Kuvassa 3.8 on havainnollistettu yläpuolisen lipan toimintaperiaatetta.



Kuva 8.25 Ikkunan yläpuolella olevan vaakasuoran lipan vaikutus nauhamaisen 1,5 metriä korkean kolmilasisen kirkkaan ikkunan läpi tulevaan auringon säteilytehoon (W/m^2 -ikkuna-ala), kun ikkuna on suunnattu etelään, itään tai länteen kesäkuun 15 päivänä kirkkaalla säällä. Ikkunan yläreunassa olevan lipan syvyys on 0,5 tai 1,0 m.

Kuva 3.7 Lipan vaikutus kuorman määrään (13)



Kuva 3. Yläpuolisen lipan suoran säteilyn varjostus eteläseinustalla eri vuorokaudenaikoina kesäkuussa. Lippa 1000 mm, ikkunan puitekorkeus 1 400 mm.

Kuva 3.8 Yläpuolinen lippa (16 s. 2)

Suojausmenetelmä on siis valittava sen mukaan, missä korkeuskulmassa auringon säteily ikkunaan osuu. Kuvissa 3.9-3.12 on esitelty erilaisia suojausvaihtoehtoja. Idässä ja lännessä parhaiten soveltuu ikkunamarkiisi, julkisivukaihdin tai screenkaih-

din, koska ne suojaavat tehokkaasti matalan korkeuskulman auringonsäteilyltä. Ete-
lässä voidaan käyttää ikkunan yläpuolista lippaa tai korimarkiisin tyyppistä suojaus-
ta, koska auringon korkeuskulma on suuri. Kuvissa 3.13 ja 3.14 on esitetty ikkunan
tärkeimmät energian virrat ulkopuolisella ja sisäpuolisella suojauksella. Kuvassa
3.15 on esitetty sälekaihtimien vaikutus g-arvoon jaettuna konvektion, säteilyn ja
suoran säteilyn osuuksiin.



Kuva 3.9 Ikkunamarkiisi (14)



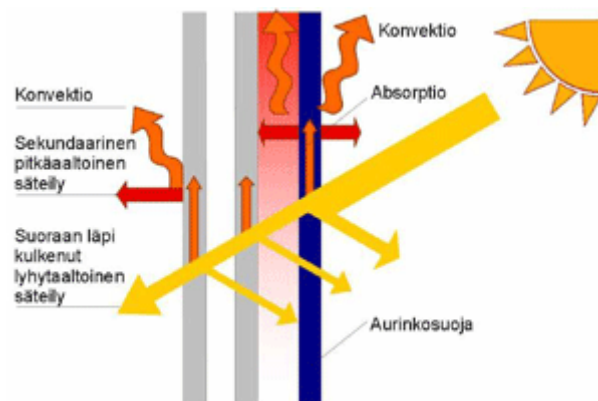
Kuva 3.10 Julkisivukaihdi (14)



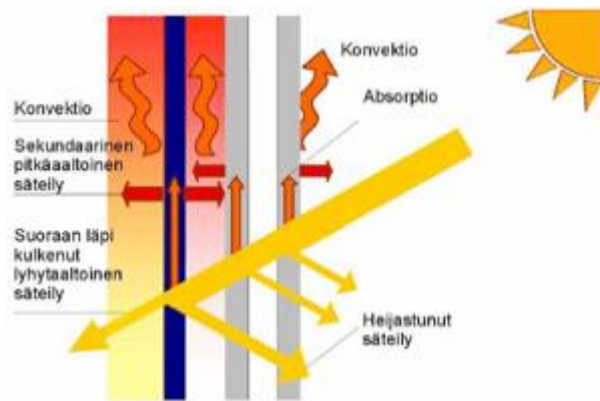
Kuva 3.11 Screenkaihdi (14)



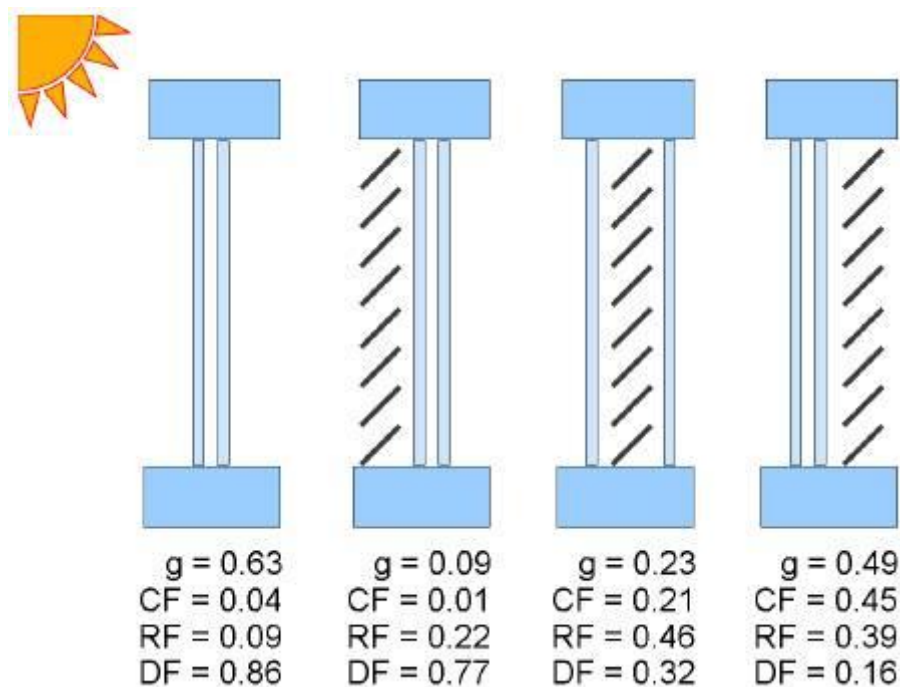
Kuva 3.12 Korimarkiisit (14)



Kuva 3.13 Ikkunan energiavirrat, ulkopuolinen suojaus (17 s. 19)



Kuva 3.14 Ikkunan energiavirrat, sisäpuolinen suojaus (17 s. 20)

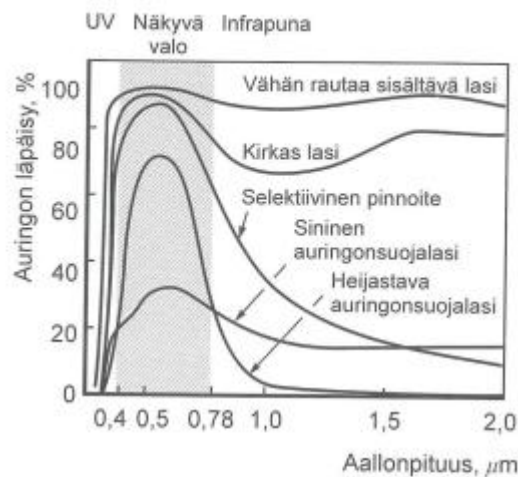


Kuva 3.15 Sälekaihtimien vaikutus (17)

”Sälekaihtimien (säleikulma 65 astetta) g-arvoja erilaisilla sijoitusratkaisulla. CF on konvektion osuus, RF on säteilyn osuus ja DF suoran säteilyn osuus. Huomattakoon, että arvot voivat vaihdella merkittävästi eri suojaustyyppien välillä. Screeneillä konvektion osuus on yleensä pienempi. Lähde: REHVA Guidebook Aurinkosuojaus.” (14) (17 s. 21)

Auringon aiheuttamaa lämpökuormaa voidaan vähentää myös käyttämällä ikkunoissa auringonsuojalasiasia. Lasin läpäisemää säteilyn määrää voidaan säädellä erilaisilla pinnoitteilla ja lasin rakenteilla. Pinnoitteesta ja rakenteesta riippuen auringonenergian kokonaisläpäisyä kuvaava g-arvo voidaan laskea jopa 0,21. Samalla myös näky-

vän valon läpäisy heikkenee. (13 ss. 179-183) Erilaisten lasilaatujen auringonsäteilyn läpäisy on esitetty kuvassa 3.16.



Kuva 8.11 Eräiden lasilaatujen auringon säteilyn läpäisevyys säteilyn aallon pituudesta riippuen (Lasifakta 2002). Parhaiten auringon säteilyä läpäisee vähän rautaa sisältävä lasi (sopii esim aurinkokerääjän katteeksi). Värillinen auringonsuojalasi vähentää samalla myös näkyvän valon määrää. Heijastavalla auringonsuojalasilla päästään lähelle optimaalisia ominaisuuksia: auringon säteilyn näkyvä valo pääsee läpi, mutta infrapunasäteily ei.

Kuva 3.16 Lasilaatujen auringonsäteilyn läpäisy (13 s. 180)

Lasin ominaisuuksista riippuen säteilyn läpäisyn, absorboitumisen ja heijastumisen osuudet muuttuvat. Esimerkiksi läpäisyä voidaan vähentää heijastavalla pinnoitteella. Läpäisyn vähentäminen vähentää kesän lämpökuorman lisäksi myös talvella hyödynnettävissä olevan säteilyn määrää, jolloin auringon lämmittävä vaikutus lämmityskaudella vähenee ja lisää lämmitysenergian tarvetta.

4 MENETELMÄT

4.1 Rakennuksen lämpöolojen ja energiankulutuksen laskenta

Energianselvityksen sisältämät laskelmat ja tarkastelut on mahdollista tehdä D3 2012 vaatimukset täyttävällä laskentatyökalulla. Tässä projektissa laskelmat toteutetaan käyttäen Equa Simulation Oy:n IDA Indoor Climate and Energy –ohjelmaa.

Rakennus mallinnetaan käytettävissä olevien suunnitelmien ja lähtötietojen perusteella. Mallin toimintaa simuloidaan eri olosuhteilla ja käytöllä kulloinkin tehtävän laskelman vaatimusten ja laskelman tekemiseen liittyvien määräysten mukaisesti. Mallista tulostetaan tuloksia tarpeen mukaan taulukko- ja kuvaajamuodossa. Tuloksia voidaan hyödyntää energiaselvityksen lisäksi myös muussa suunnittelussa erilaisen LVI-teknisten ratkaisujen toimivuuden arvioimisessa.

4.2 Aurinkolämpöjärjestelmän tuoton laskeminen

Aurinkolämpöjärjestelmän tuoton laskentaa ei sisällytetä simulointiin, joten se on laskettava erikseen. D5 2012:ssa on esitetty yksinkertaistettu laskentamenetelmä aurinkolämpö- ja sähköenergian vuosittaisen tuoton laskemiseksi. Yksinkertaistetun menetelmän heikkous kuitenkin on, että sen epätarkkuuden vuoksi menetelmällä lasketun tuoton osuus kulutuksesta saa olla korkeintaan 40%, mikä vuorostaan vähentää aurinkolämmön ja –sähkön vaikutusta kokonaisenergiankulutuksen laskentaan.

Aurinko-opas 2012 käsittelee laskentatapaa, jonka avulla voidaan laskea aurinkolämpö- ja aurinkosähköjärjestelmien hyödynnettävä energiamäärä. Oppaassa esitetty laskentamenetelmä perustuu EN standardiin SFS EN 15316-4-3:2007 ”Rakennusten lämmitysjärjestelmät. Järjestelmien energiavaatimusten ja järjestelmätehokkuuden laskenta. osa 4-3: Lämmönjakojärjestelmien lämmöntuottolaitteet, aurinkolämpölaitteisto”. Standardissa esitetty menetelmä perustuu f-chart menetelmään. (18 s. 7)

Aurinko-opas 2012:ssa aurinkolämpöjärjestelmän tuotto kuukausitasolla lasketaan kaavalla 3.

$$Q_{\text{tuotto}, A} = c_{\text{tyyppi}} (aY + bX + cY^2 + dX^2 + eY^3 + fX^3) * Q_{\text{tarve}, A} \quad (3)$$

$Q_{\text{tuotto}, A}$	on aurinkolämpöjärjestelmän tuotto tarkastelujaksolla (kWh)
$Q_{\text{tarve}, A}$	lämmöntarve, joka kohdistuu aurinkolämpöjärjestelmään (tilojen lämmitys ja käyttövesi tai pelkästään käyttöveden lämmitys) (kWh)
c_{tyyppi}	varaajatyypin korjauskerroin. Varaajatyypin korjauskertoimena tässä kansallisessa menetelmässä käytetään aina $c_{\text{tyyppi}} = 1$.
a, b, c, d, e, f	myös varaajatyypistä riippuvia korjauskertoimia. Tässä kansallisessa laskentamenetelmässä katettaville järjestelmille
	$a = 1,029$
	$b = -0,065$
	$c = -0,245$
	$d = 0,0018$
	$e = 0,0215$
	$f = 0$
X, Y	X on häviöt/tarve –suhde ja Y on tuotto/tarve –suhde.

Tuoton laskemiseksi kaava syötetään taulukkolaskentaohjelmaan, jonka toimivuus varmistetaan vertailemalla ohjelman tuloksia aurinko-oppaassa esitetyn menetelmän mukaan lasketun esimerkkitapauksen tuloksiin, kun lähtötiedot ovat samat. Esimerkin ja taulukkolaskentaohjelmalla lasketut tulokset on esitetty taulukkomuodossa kuvassa 4.1 ja taulukossa ja graafina kuvassa 4.2.

Aurinko-oppaassa lasketun aurinkolämmön tuoton laskennan esimerkissä käytetyt lähtöarvot ovat seuraavat:

- Rakennus sijaitsee säävyöhykkeellä 1
- Keräinpinta-alaa on $8,0 \text{ m}^2$ (4 kpl $2,0 \text{ m}^2$ keräimiä)
- Keräimet ovat tasokeräimiä, joiden hyötysuhde $\eta_0 = 83\%$ ja hyötysuhdekäyrän lämpöhäviötermi $a_1 = 2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (valmistajan ilmoittamat arvot)
- Keräimet on suunnattu etelään ja niitä on kallistettu 45 astetta
- Lämpimän käyttöveden tarve on 50 l/vrk/henkilö ja suunnittelu tehdään vastaamaan 4 hengen kulutusta
- Lämpimän käyttöveden lämpötila on 55 astetta ja kylmän veden 5 astetta.
- Lämpimällä käyttövedelle ei käytetä kiertojohtoa ja putkisto on eristetty perustason mukaisesti

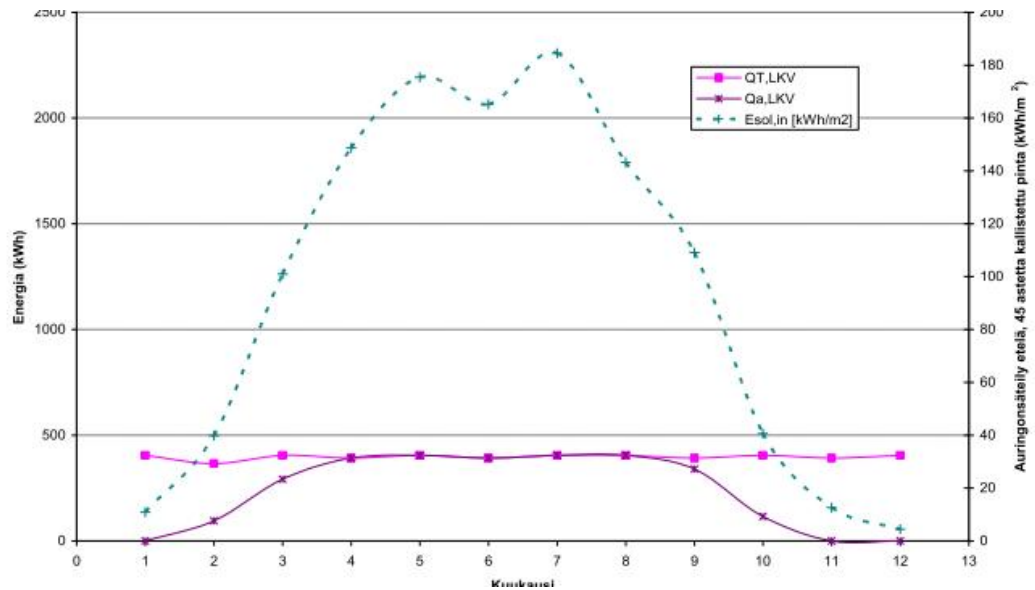
- Varaajan koko on 400 l mistä 200 l osassa on lisälämmitys, jota käytetään yökäytöllä.
- Kiertopumppujen teho on 40 W

Lähtötiedot:				
Säätiedot:			Säätiedot Helsinki	
Keräimen, varaajan ja verkoston tiedot				
1. Keräimen koko A		A	8 m2	
2. Keräimen hyötysuhde n0		n0	0,83 -	
3. Keräimen suuntaus/kallistus, korjauskerroin		IAM	0,94 -	
4. Keräinpiirin erityis/häviötekijät		Uloop	3,125 W/K	
5. Keräinpiirin pumppujen teho ja käyttöaika		P&t	20 W	2000 h
6. Varaajan koko		V	400 L	
7. Varaajan jako lämmitys/käyttövesi apuenergian osuus		fapu	0,5 -	
LKV tarve		qv/vrk	200	
LKV/keräinA (L/vrk/m2)		L/vrk/m2	25	
Keräin A/Varaajan100L		A/100L	2 n0A/100L	1,66
n0*A		n0*A	6,64	
n0*A/kulutus		n0*A/kulut	0,0332 *50L kulutusta kohti=	1,66
Tulokset:				
	LKV:n lämmitys QT,LKV	Auringolla Qa,LKV	LKV XLKV	Ostolämpö varaajaan Qlisälämpö (100% HS)
Kuukausi				
tam	404,4	0,0	0,0	404,4
hel	365,3	94,8	26,0	270,5
maa	404,4	292,0	72,2	112,5
huh	391,4	391,4	100,0	0,0
tou	404,4	404,4	100,0	0,0
kes	391,4	391,4	100,0	0,0
hei	404,4	404,4	100,0	0,0
elo	404,4	404,4	100,0	0,0
syy	391,4	339,6	86,8	51,7
lok	404,4	115,0	28,4	289,5
mar	391,4	0,0	0,0	391,4
jou	404,4	0,0	0,0	404,4
Vuosi	4761,9	2837,4	59,6	1924,4

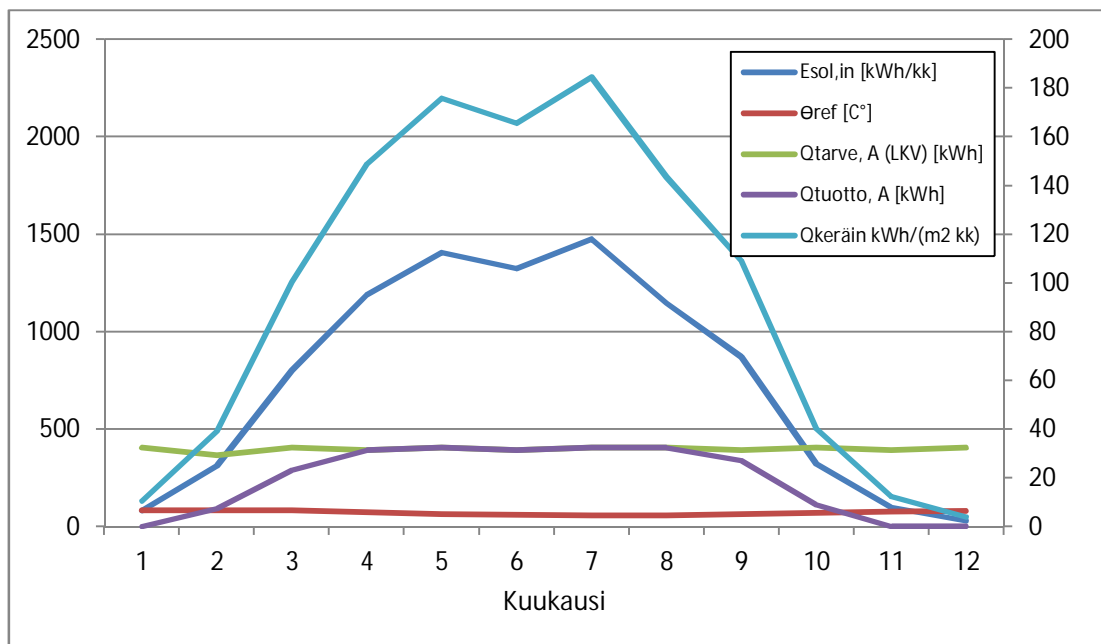
Kuva 4.1 Esimerkin tulokset aurinko-oppaassa (18 s. 18)

Taulukko 4.1 Esimerkin tulokset, oma taulukkolaskenta

	Tarve	Tuotto	Tuotto %	Lisälämpö
Tammi	404	0.0	0 %	404.4
Helmi	365	92.0	25 %	273.3
Maalis	404	290.7	72 %	113.7
Huhti	391	391.4	100 %	0.0
Touko	404	404.4	100 %	0.0
Kesä	391	391.4	100 %	0.0
Heinä	404	404.4	100 %	0.0
Elo	404	404.4	100 %	0.0
Syys	391	339.6	87 %	51.7
Loka	404	113.7	28 %	290.7
Marras	391	0.0	0 %	391.4
Joulu	404	0.0	0 %	404.4
	4762	2832	59 %	1930



Kuva 4.2 Esimerkin tulokset aurinko-oppaassa (18 s. 18)



Kuva 4.3 Esimerkin tulokset, oma taulukkolaskenta

Kun vertaillaan aurinko-oppaan ja oman taulukkolaskennan samoilla lähtötiedoilla laskettuja tuloksia voidaan todeta, että taulukkolaskenta toimii ja että sitä voidaan käyttää aurinkolämpöjärjestelmien tuoton laskentaan.

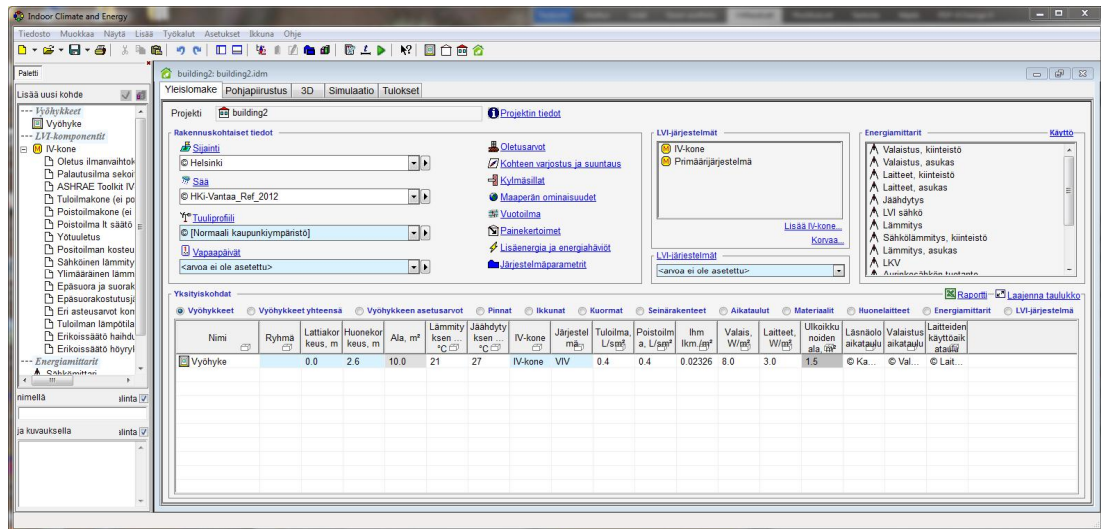
4.3 IDA-ICE:n esittely

IDA Indoor Climate and Energy on rakennusten sisäilmaston ja energiankulutukseen suunniteltu simulointiohjelma. ICE on IDA -simulointiympäristön laajennus. Käyttäjän on periaatteessa mahdollista simuloida minkä tahansa järjestelmän toimintaa. ICE:ssä simuloitava järjestelmä koostuu yleensä yhdestä tai useammasta vyöhykkeestä, primäärijärjestelmästä ja yhdestä tai useammasta ilmapuhaltuskoneesta. Lisäksi simuloinnissa voidaan määrittää rakennusta ympäröivien esteiden varjostus ja paikan säätiedot. (19 s. 8)

Simulointi IDA-ympäristössä perustuu NMF- tai Modelica-kielellä ohjelmoituihin objekteihin. Mallinnettava tilanne jaetaan näiksi objekteiksi. Kun objektit liitetään toisiinsa, saadaan matemaattinen malli joka ratkaistaan ohjelman ratkaisijan avulla. (20) IDA –simulointiympäristö on näin ollen joustava ja helposti laajennettavissa.

IDA ICE:n avainominaisuuksiin kuuluu muun muassa mahdollisuus ohjelmoida omia malleja, muuttuva aika-askel simuloinnissa (dynaaminen laskenta), joustavat lähtötietojen syöttömahdollisuudet ja tietojen vienti muihin ohjelmiin, 3D-visualisoinnit ja lukuisat eri tavat esittää simulointien tuloksia. Kaikki IDA ICE:n laskelmat muuttujat on mahdollista tallentaa myöhempää tarkastelua varten. (21)

IDA ICE:ssä on graafinen käyttöliittymä, jonka avulla mallinnettavan rakennuksen muoto, toiminta ja käyttö määritetään. Kun malli on valmis, tehdään tarpeen mukainen simulointi. Tuloksia voidaan tarkastella taulukkomuodossa ja rakennuksen 3D-mallin avulla. Graafinen käyttöliittymä on esitetty kuvassa 4.4.

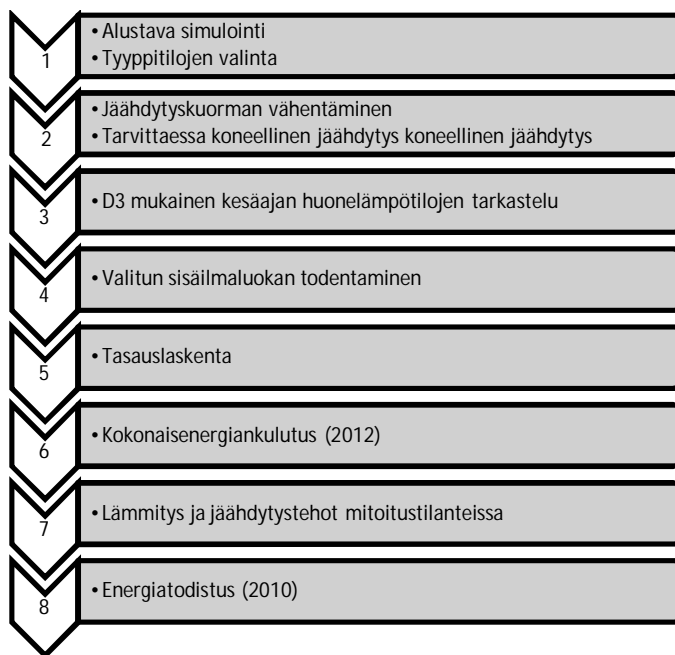


Kuva 4.4 IDA ICE:n Yleislomake-näkymä

Simulointiohjelmistojen toimintavarmuus ja standardien mukaisuus osoitetaan yleisesti vertaamalla simuloinnin tuloksia mitattuun tietoon (22). ASHRAE 140-2004 Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs –standardissa on vertailtu eri ohjelmistojen tuloksia. Testiraportin lopussa todetaan, että IDA-ICE selviytyi testisarjasta hyvin. (23 ss. 42-43) IDA-ICE:a voidaan siis pitää D3 2012 mukaiseen energialaskentaan ja kesäajan huonelämpötilojen laskentaan soveltuvana dynaamisena työkaluna.

4.4 Prosessin kuvaus

Tässä projektissa simuloinnit ja laskelmat tehdään kaaviossa 4.5 esitettyssä järjestyksessä. Energiankulutukseen liittyviä laskelmia ei voida tehdä, ennen kuin tunnetaan jäähdytyksen tarve. Tästä syystä varmistetaan ensin lämpöolojen määräysten mukaisuus ja tavoitearvojen toteutuminen.



Kuva 4.5 Laskelmien järjestys

Aluksi suoritetaan alustava simulointi, jonka tuloksista nähdään miten lämpökuormat ja energiankulutus rakennuksessa jakautuvat. Tulosten avulla voidaan arvioida onko lämpökuormia tarvetta rajoittaa ja jos on niin miten. Simuloinnin perusteella valitaan tyyppitilat myöhempään tarkastelua varten. Tyyppitilat edustavat olosuhteiltaan vaikeimpia tapauksia ja niistä saadut tulokset ovat rinnastettavissa muihin vastaaviin tiloihin. Mallista tehdään uusi versio, johon jäähdytyskuormien vähentämiseksi suunnitellut keinot päivitetään ja niiden toimivuus ja vaikutus todetaan simuloimalla malli uudelleen. Tässä projektissa ratkaisun toimivuutta arvioidaan tarkkailemalla D3 2012 mukaisen kesäajan huonelämpötilojen vaatimuksen toteutumista.

Kun suunniteltu ratkaisu täyttää D3 vaatimukset, voidaan prosessissa siirtyä eteenpäin ja tarkastella tuloksia sisäilmaluokan avulla rakennuksen sisäilmastolle määritettyjen raja-arvojen toteutumista. Tämän vaiheen jälkeen malli täyttää lämpöoloille asetetut määräykset ja tavoitteet, ja voidaan siirtyä energiankulutuksen laskentaan.

Ensimmäinen energiankulutukseen liittyvä laskenta on tasauslaskenta. Tasaus laskennassa rakennuksen suunniteltujen ratkaisujen mukaan laskettuja lämpöhäviöitä verrataan D3 2012 vertailuarvoilla laskettuihin lämpöhäviöihin. Tasauslaskelma tehdään ympäristöministeriön julkaisemalla D3 Tasauslaskin 2012 (versio joulukuu 2012) –taulukkolaskentaohjelmalla.

Tasauslaskennan jälkeen lasketaan rakennuksen kokonaisenergiankulutus D3 2012 mukaan. Kokonaisenergiankulutus lasketaan standardikäytöllä, mikä tarkoittaa että malliin on päivitettävä rakennuksen käyttötarkoitukseluokan mukaiset laskennan lähtötiedot. Jos kokonaisenergiankulutus täyttää vaatimukset, voidaan laskea lämmitys- ja jäähdytystehot mitoitusilanteissa vaatimukset täyttävällä mallilla. Tämän jälkeen siirrytään energiatodistukseen, joka laaditaan voimassaolevan ympäristöministeriön energiatodistuksesta antaman asetuksen 487/2007 mukaisesti. Lopuksi energiaselvityksen osat kootaan yhteen. Energiaselvitys esitetään kokonaisuudessaan tämän raportin liitteenä.

5 MALLINTAMINEN

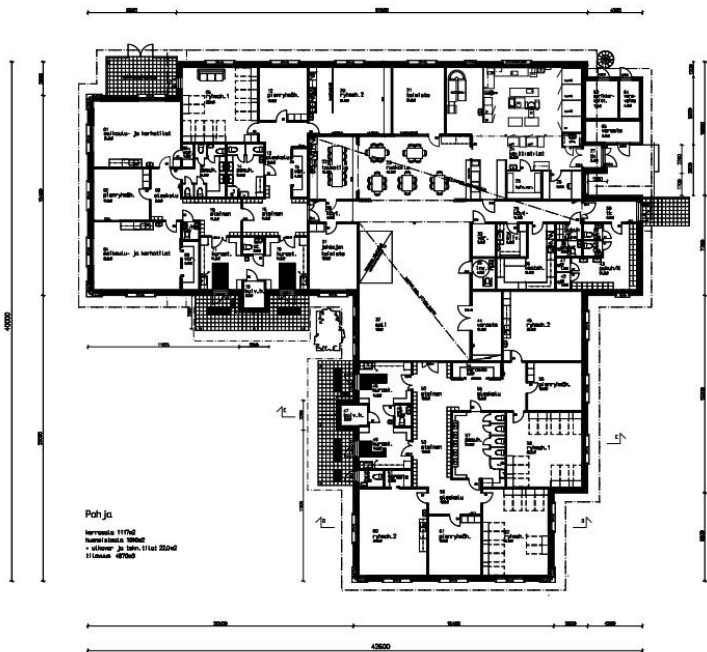
5.1 Kohde

5.1.1 Perustiedot

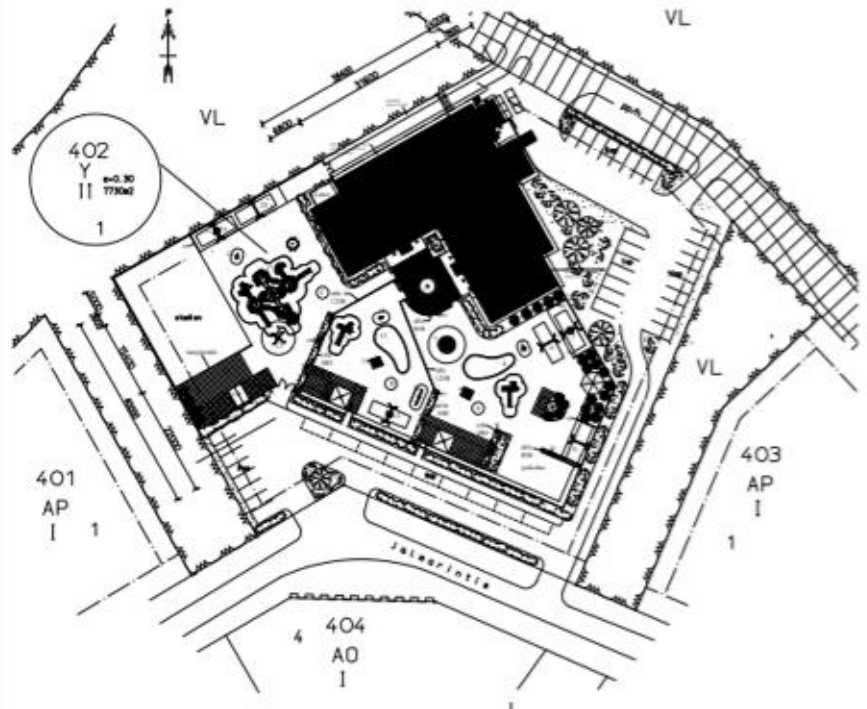
Lapijoen päiväkotito on Eurajoelle rakennettava uudisrakennus. Rakennus on noin 1000 m² suuruinen, 4-osastoinen päiväkotirakennus. (24) Kohteen perustiedot on esitetty taulukossa 5.1. Rakennuksen pohjakuva on esitetty kuvassa 5.1 ja asemapiirustus kuvassa 5.2.

Taulukko 5.1 Kohteen perustiedot

Kohteen nimi	Lapijoen päiväkotito
Paikka	Eurajoki
Kerrosala	1147 m ²
Kerrokset	Yksikerroksinen + IVKH ullakolla
Perustus	Maavarainen laatta
Runko	Puu
Verhous	Tiili
Katto	Konesaumattu pelti
Osapuolet	
Rakennuttaja	Eurajoen kunta
Rakennuttaminen ja valvonta	Pöyry CM Oy
Pääsuunnittelija/Arkkitehti	Ark tsto Suunnittelu KÄRKI Oy
Rakennesuunnittelu	Ins.tsto L & U Oy
LVIA-suunnittelu	Rejlers Oy
Sähkösuunnittelu	Karawatski Oy
Talotekniikka	
Lämmitysmuoto	Maalämpöpumppu + aurinkokeräimet
Lämmönjako	Lattialämmitys
Ilmanvaihto	Koneellinen tulo ja poisto
Sisäilmaluokka 2008	ilmavirrat S2, lämpötilat S3



Kuva 5.1 Pohjapiirustus



Kuva 5.2 Asemapiirustus

Projektin alustava aikataulu LVIA-suunnittelutarjouspyynnössä 29.10.2012 on seuraavanlainen:

- suunnittelutarjoukset marraskuun alku 2012
- suunnittelijoiden valinta marraskuu 2012
- suunnitelmat rakennusurakan tarjouspyyntöä varten maaliskuu 2013
- rakentamisen kilpailutus huhtikuu 2013
- rakentamisen aloitus kesäkuu 2013
- rakennuksen valmistuminen lokakuu 2014

5.1.2 Suunniteltu käyttö

Lapijoen päiväkodissa on 4 eri osastoa. Tiloissa tapahtuu päivähoito-, esiopetus- ja iltapäiväkerhotoimintaa. Osastojen suunnitellut henkilömäärät ja aikataulu on esitetty kuvassa 5.3.

LAPIJOEN PÄIVÄKOTI, päivähoidon, esiopetuksen ja iltapäiväkerhotoiminnan henkilöstö

Vuorohoito-osasto	1-6 v. osasto	1-6 v. osasto	Aamukerho 20 lasta, 2 työntek.	
30 lasta max	21 lasta max	21 lasta max	Eskarit 12-17 lasta (4 tuntia)	1-2-luokkalaisten kouluun
2 lastentarhanopettajaa	2 lastentarhanopettajaa	2 lastentarhanopettajaa	esiopettaja	
4 hoitajaa	1 hoitaja	1hoitaja	Iltapäiväkerho 30 lasta	1-2 luokkalaisten koulusta
		päiväkodin johtaja	2-3 työntekijää	
Päivähoidon henkilöstö yhteensä: 14 vakinaista + 2-3 määräaikaista iltapäiväkerho-ohjaajaa				
+ 2-3 määräaikaista ryhmäavustajaa = max 20 työntekijää				
+ ruokahuolto + siivous = 3 työntekijää				
Yhteensä max 23 työntekijää				
Yhteensä max 100 eri lasta (vuorohoitoryhmässä vaihtelee lasten määrä huomattavasti)				

Kuva 5.3 Henkilöstö ja osastot (25)

Rakennusta käyttää maksimissaan 100 lasta ja 23 työntekijää yhtäaikaaisesti. Vuorohoitoryhmässä lasten määrä vaihtelee huomattavasti. Keittiö on valmistuskeittiö, jossa tehdään 120 aamupalaa, lounasta ja välipalaa päivässä.

5.1.3 Talotekniikka

Kohteessa on lattialämmitys. Lämmöntuotantotapana on maalämpö. Jäähdytyksen kylmänlähteenä käytetään maalämmön keruupiiriä. Osa käyttöveden lämpöenergiasta tuotetaan aurinkokeräimillä. Kohteessa on kolme ilmanvaihtokonetta, joissa on tuuloilman jäähdytys. Osassa tiloja on ilmamääräsäätöinen järjestelmä, joka säätyy CO₂-pitoisuuden ja lämpötilan perusteella. Muissa tiloissa on vakioilmavirta järjestelmä.

5.2 Mallin tekeminen ja alkutilanteen lähtötietojen syöttö

5.2.1 Muoto ja rakenteet

Mallin muoto, aukot ja suuntaus tontilla määritettiin arkkitehdin piirustusten perusteella. Käytettävissä oli asema-, pohja-, leikkaus- ja julkisivupiirustukset. Rakenteet määritettiin rakennesuunnittelijan suunnitelmien mukaan.

IDA ICE:n termi rakennuksen ulkomuodolle on 'building body'. Building body määritetään ulkoseinien sisäpinnan perusteella. Määrittämisen avuksi on mahdollista tuoda dwg-piirustus IDA ICE:n pohjapiirustusnäkökuvan taustalle. Oletuksena building bodyn katto on identtinen bodyn lattian kanssa. Katon muotojen määrittämiseksi bodyyn lisätään katto-pisteitä, joille määritetään x-,y- ja z-koordinaatit. Katon muoto määritellään yhdistelemällä näitä pisteitä tasoiksi.

Aukot, kuten ovet ja ikkunat lisätään objekteina pohjakuvaanäkymässä. Samalla määritetään aukkojen geometria ja muut ominaisuudet, kuten lämmönjohtavuus ja kokonaissäteilyn läpäisykerroin. Ominaisuuksista ei ollut tarkkaa tietoa, joten laskelmissa käytettiin D3 2012 mukaisia tasauslaskennassakin käytettyjä lämmönläpäisykertoimien vertailuarvoja. Ovien ja ikkunoiden lämmönläpäisykertoimeksi määritettiin 1,0 W/m², K. Ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykertoimen g käytettiin D5 2012 esitetyn pinnoitetun eristyslasin g_{kohtisuora}-arvoa 0,55. Kun lasketaan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin D3 mukaan, saadaan g-arvoksi 0,5. D5:n g-arvon laskenta on esitetty kuvassa 5.4.

$$g = 0,9 g_{\text{kohtisuora}}$$

jossa

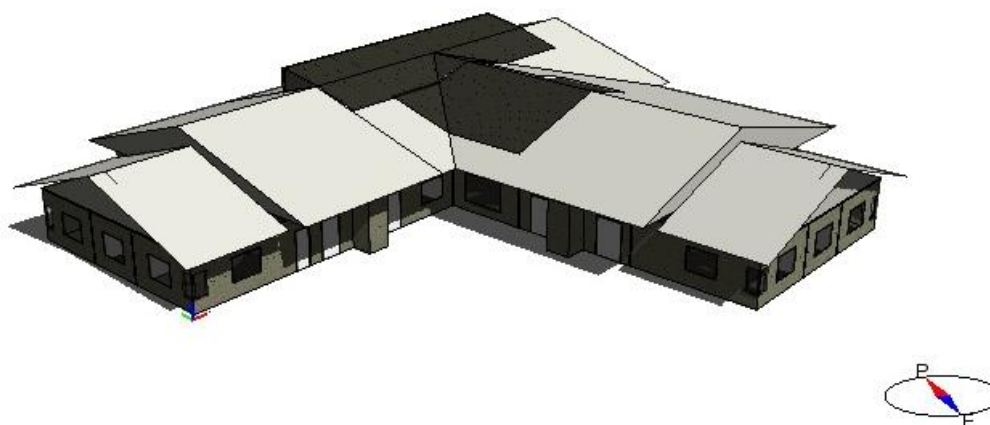
g ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin, -
 $g_{\text{kohtisuora}}$ ikkunan valoaukon kohtisuoran auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin, -.

Taulukko 5.1. Ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin $g_{\text{kohtisuora}}$

Lasitus	$g_{\text{kohtisuora}}$
Yksinkertainen lasitus	0,85
Kaksinkertainen lasitus	0,75
Yksipuitteinen, kolmilasinen ikkuna	0,70
Eristyslasi + erillislasi	0,65
Eristyslasi, matalaemissiviteettipinnoite + erillislasi	0,55

Kuva 5.4 g-arvon laskenta D5 2012:ssa (26 s. 33)

Rakennuksen suuntaus asetetaan syöttämällä building bodyn kulma pohjoiseen nähden. Kuvassa 5.5 nähdään rakennuksen mallinnettu muoto IDA ICE:n 3D-näkymässä.



Kuva 5.5 IDA ICE:n 3D-näkymä

Rakenteiden määrittämisessä jouduttiin tekemään joitain yksinkertaistuksia. IDA:an ei ole mahdollista syöttää koolauksia ja epätasa-aineisia rakennekerroksia. IDA tarvitsee laskentaa varten käytettävän materiaalin lämmönjohtavuuden, ominaislämpökapasiteetin ja tiheyden sekä rakennekerroksen paksuuden, ja määrittelee näiden tietojen perusteella rakenteen U-arvon ja massiivisuuden. Yleisesti epätasa-aineisuus huomioitiin tässä projektissa laskemalla kyseessä olevan rakennekerroksen lämmönvastus lämpövirran kanssa kohtisuoralla pinta-alalla painotettu keskiarvona C4 2003:ssa osoitetulla tavalla (5 ss. 3-4). Kerroksen muut ominaisuudet, tiheys ja ominaislämpökapasiteetti, laskettiin niin ikään painotetulla keskiarvolla. Lopuksi raken-

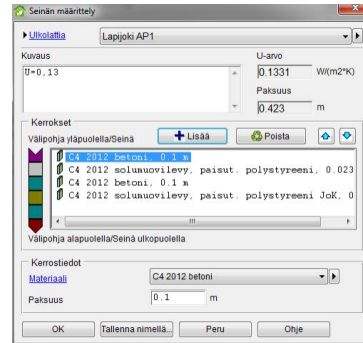
teen U-arvo 'säädettiin' vastaamaan rakennesuunnittelijan laskemaa U-arvoa muuttamalla paksuimman ja samalla uloimman eristekerroksen eristeen lämmönjohtavuutta IDA:ssa. Tätä menetelmää käytettiin ulkoseinien määrittämisessä.

Yläpohjan eristämättömien koolausten oletettiin olevan samaa ilmatilaa huoneen ilmatilan kanssa, jolloin ilmatilalla ei ole lämmöneristystä parantavaa vaikutusta. Yläpohjan sisin kipsilevy ja koolauksessa käytetty puu huomioitiin yläpohjan määrittämisessä vain massiivisuuden osalta. Koolaukset määritettiin levymäisenä rakenteena, jonka tiheys ja ominaislämpökapasiteetti laskettiin ilmatilan ja koolauksessa käytetyn puun painotettuna keskiarvona. Kipsin ja koolauksen lämpöjohtavuudeksi λ määritettiin $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ettei niillä käytännössä ole parantavaa vaikutusta yläpohjan kokonaislämmönvastukseen. Rakenteen U-arvo säädettiin vastaamaan rakennesuunnittelijan arvoa samalla tavalla kuin ulkoseinän tapauksessa muuttamalla uloimman eristekerroksen lämmönjohtavuutta λ . Rakenteiden määrittäminen IDA:ssa on esitetty kuvissa 5.6-5.9. Rakenneaineiden ominaisuuksien keskiarvojen laskenta on esitetty taulukossa 5.2.

AP1:

- PINTAMATERIAALI ARKK.SUUNN. MUKAAN
- LAATTA 100mm, KESKEINEN TERÄSTYS # ϕ 5-150
- ULKONURKISSA LISÄKSI YLÄPINNASSA # ϕ 5-150
- VERKON KOKO 2350x2500, KIVAINEKSEN MAX
- RAEKOKO VÄHINTÄIN 12 mm.
- PINNAN HIERTO LATTIAMATERIAALIN MUKAAN
- FAST SILENT ASENNUSLEVY 32 mm
- MAANVARAINEN LAATTA 100 mm,
- RAUDOITUS # ϕ 5-150 B500K KESKEINEN,
- POLYSTYREENIERISTE EPS 100 LATTIA 100+100mm
- KONEELLISESTI TIIVISTETTY
- SALAOJITUSSEPELI >300mm
- MASSANVAIHTO POHJATUTKIJAN OHJEEN MUKAAN
- SUODATINKANGAS (KL 2)
- PERUSMAA, KALLISTUKSET SALAOJIN >1:100

$$U = 0,13 \text{ W/m}^2\text{K (VAATIMUS max } 0,16 \text{ W/m}^2\text{K)}$$



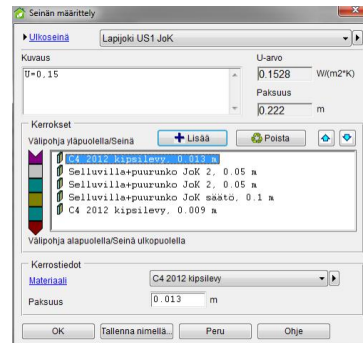
Kuva 5.6 Alapohjan 1 rakenteen suunnitelma ja määrittäminen

US1:

- JULKISIVUMUURAUS 130 mm
- RST-SITEET > 4 kpl/m²
- TUULETUSVÄLI 41 mm
- GYPROC TSL 9 mm
- KANTAVA RAKENNE: 50x150 K600
- + RUIKUTETTU SELLUVILLA 150 mm
- VAAKAKOOLAUS 50X50 K600+ RUIKUTETTU SELLUVILLA 50 mm
- PYSTYKOOLAUS 50X50 K600+ RUIKUTETTU SELLUVILLA 50 mm
- RAKENNUSPAPERI
- GYPROC EK 13 mm
- PINTAKÄSITTELY ARKK.SUUNNITELMIEN MUKAAN

LAATOITETTAVISSA MÄRKÄTILOISSA SERTIFIoitu
VEDENERISTYS VALMISTAJAN OHJEEN MUKAAN.
LAATOITUKSET ISOJEN (>200x200) KERAAMISTEN
LAATTOJEN ALUEILLA JAETTAVA LIKUNTASAUMOIN
~25m2:n ALUEIHIN LAATTAVALMISTAJAN
ERIKOISOHJEEN MUKAAN.

$$U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K ULKOILMAA VASTEN (G3: max } 0,17 \text{ W/m}^2\text{K)}$$

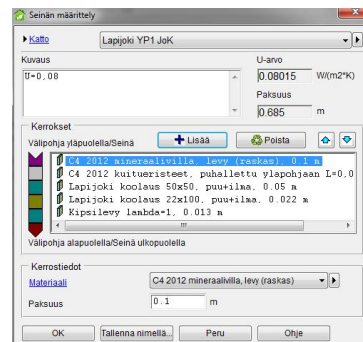


Kuva 5.7 Ulkoseinä 1 rakenteen suunnitelma ja määrittäminen

YP1:

- KONESAUMATTU PELTIKATE 0,6mm RT85-10862
- PINTASIROTTEETON KUMIBITUMIERISTYSKERM
- K-MS 170/3000, KIINNITYS PISTE- JA SAUMALIMATEN + MEKAANINEN KIINNITYS
- RAAKAPONTILAUDOITUS 23x95,
- RÄYSTÄILLÄ PAREMPI PUOLI ALASPÄIN
- esim. HIENOSAHAUTTU KAHDESTA NURKASTA
- PYÖRISTETTY LAUTA 23x95 K100
- NAULALEYRISTIKOT RAKENNESUUNNITELMIEN MUKAAN
- + TUULETETTU ILMATILA >125mm
- + PAROC eXtra 100 1KPL+PUHALLUSVILLA PAROC BLT 6 500 MM
- HÖYRYNSULKUMUUVI 0,2 mm
- KOOLAUS 50X50 K300
- KOOLAUS 22X100 K400
- GYPROC N 13 mm
- PINTAKÄSITTELY ARKK.SUUNNITELMIEN MUKAAN

$$U = 0,08 \text{ W/m}^2\text{K (VAATIMUS max } 0,09 \text{ W/m}^2\text{K)}$$

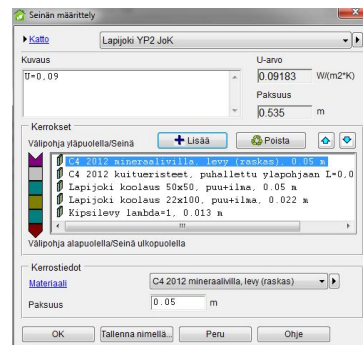


Kuva 5.8 Yläpohja 1 rakenteen suunnitelma ja määrittäminen

YP2:

- KONESAUMATTU PELTIKATE 0,6mm RT85-10862
- PINTASIROTTEETON KUMIBITUMIERISTYSKERM
- K-MS 170/3000, KIINNITYS PISTE- JA SAUMALIMATEN + MEKAANINEN KIINNITYS
- RAAKAPONTILAUDOITUS 23x95,
- RÄYSTÄILLÄ PAREMPI PUOLI ALASPÄIN
- esim. HIENOSAHAUTTU KAHDESTA NURKASTA
- PYÖRISTETTY LAUTA 23x95 K100
- KOOLAUS 50X125 K900+ TUULETUS
- KOOLAUS 100X50 K1300+ PAROC CORTEX 50 mm
- KERTOPUUKANNATTAJAT RAKENNESUUNNITELMIEN MUKAAN
- +PUHALLUSVILLA PAROC BLT 6 400 MM
- HÖYRYNSULKUMUUVI 0,2 mm
- KOOLAUS 50X50 K300
- KOOLAUS 22X100 K400
- GYPROC N 13 mm
- PINTAKÄSITTELY ARKK.SUUNNITELMIEN MUKAAN

$$U = 0,09 \text{ W/m}^2\text{K (VAATIMUS max } 0,09 \text{ W/m}^2\text{K)}$$



Kuva 5.9 Yläpohja 2 rakenteen suunnitelma ja määrittäminen

Taulukko 5.2 Epätasa-aineisten kerrosten ominaisuudet

US1:n puuta ja eristettävä sisältävät kerrokset									
Rak. Materiaali	Tiheys	Ominaislämpökapasiteetti	Pituus	Leveys	Ala	Osuus	Tiheys, painotettu	Ominaislämpökapasiteetti, painotettu	Massiivisuus
	kg/m ³	J/(kg K)	m	m	m ²	%	kg/m ³	J/(kg K)	kJ/(m ³ K)
Puu	500	1600	1	0.05	0.05	8 %	42	133	67
Villa	52.5	1600	1	0.55	0.55	92 %	48	1467	77
			2	0.6	0.6	100 %	45	800	72 (ka.)

5.2.2 Vuotoilma ja kylmäsillat

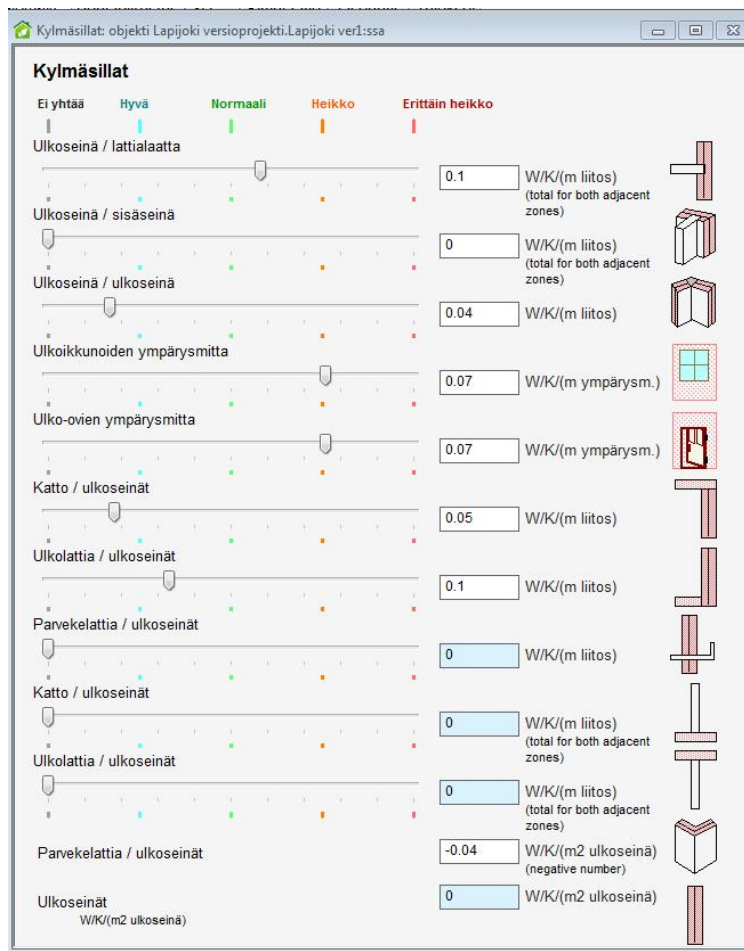
D3 2012:n mukaan rakennuksen vuotoilmavirta määritetään vuotoilmaluvun q_{50} avulla. Tässä projektissa q_{50} -lukuna käytettiin 4 (m³/(h·m²)), jolloin D3 2012:n mukaan tiiveyttä ei tarvitse osoittaa mittauksin rakennuksen valmistuttua. IDA:an syötettävä vuotoilmavirta laskettiin kuvassa 5.10 esitetyn kaavan mukaan. IDA laskee vaipan alan automaattisesti, joten A_{vaippa} -termi jätettiin pois. Kertoimena x käytettiin yksikerroksisten rakennusten arvoa 35, jolloin ulkoilmaa vasten olevien vaipanosien vuotoilmavirraksi saadaan 0,031 l/s per 1 m² vaipan pinta-alaa. (7 s. 23)

$$q_{\text{v, vuotoilma}} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} A_{\text{vaippa}} \quad (5)$$

q_{50}	rakennusvaipan ilmanvuotoluku m ³ /(h·m ²)
A_{vaippa}	rakennusvaipan pinta-ala m ²
x	kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 35, kaksikerroksisille 24, kolmi- ja nelikerroksisille 20 ja viisikerroksisille korkeimmille rakennuksille 15
3600	kerroin, joka muuttaa ilmavirran m ³ /h yksiköstä m ³ /s yksikköön.

Kuva 5.10 Vuotoilmavirran laskenta D3 2012:ssa

Kylmäsillat määritettiin D5 2012 mukaisilla viivamaisten kylmäsiltojen ohjearvoilla. Arvot syötettiin IDA:an liitostyypeittäin. Ulko- ja sisäseinän välistä liitosta ei D5:ssä oltu määritetty, joten se voitiin jättää huomioimatta. (26 s. 19) Syötetyt kylmäsillat on esitetty kuvassa 5.11.



Kuva 5.11 Kylmäsiltojen syöttö IDA:an

5.2.3 Ympäristö ja ilmasto

Rakennuksen ympärillä ei tiettävästi ole varjostavia esteitä tai rakennuksia, jotka vaikuttaisivat laskentaan. Jos niitä kuitenkin ilmenee myöhemmin, päivitetään ne malliin tulosten varmistamiseksi.

Maaperän ominaisuuksia määritettäessä käytettiin IDA:n oletusmaamallia ISO-13370. Lattiarakenteiden alapuolisina maakerroksina käytettiin IDA:n tietokannan C4 2012 maaperä, hiekka, jonka mukaan rakennuksen alla on 1 m hiekkaa.

Määräysten mukaisuuden osoittamisessa käytetty laskentasää on Helsinki 2012 aikajaksolla 1.6-31.8 (7). Sisäilmaluokitus 2008:ssa sanotaan, että lämpötilojen laskennassa on käytettävä standardin ISO 15927-4:2005 mukaista testivuotta, Testivuotta 1979 tai erikseen sovittua ajanjaksoa (11 s. 13). Selkeyden vuoksi tässä työssä si-

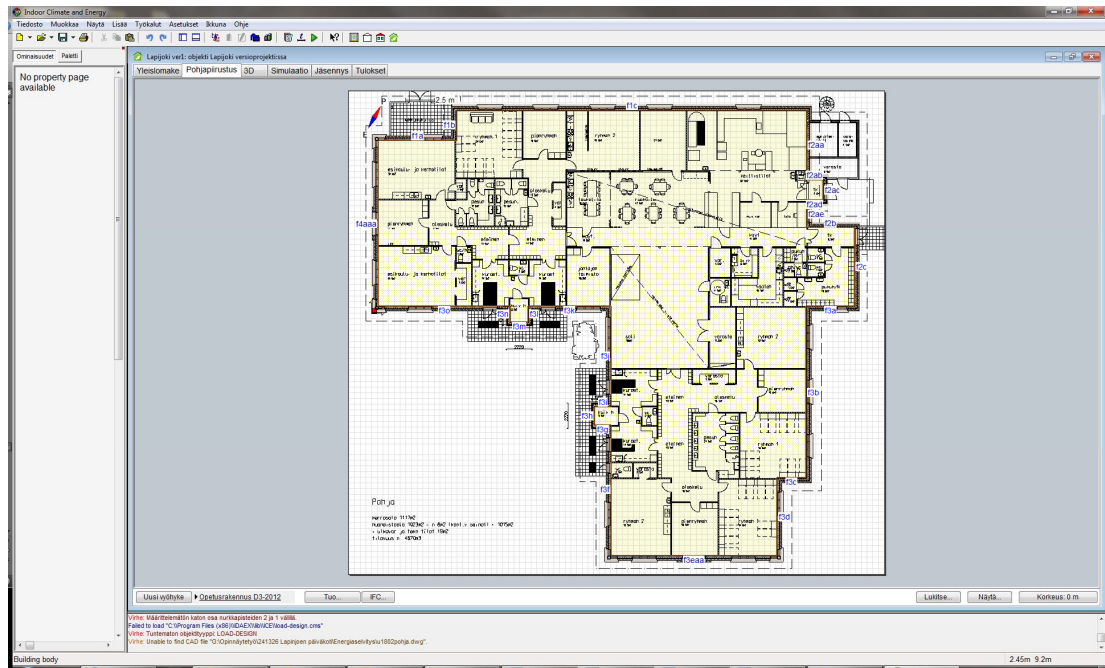
säilmaluokan todentamisessa käytetään samaa laskentasäätä kuin määräysten mukaisuuden osoittamisessa.

5.2.4 Vyöhykejako

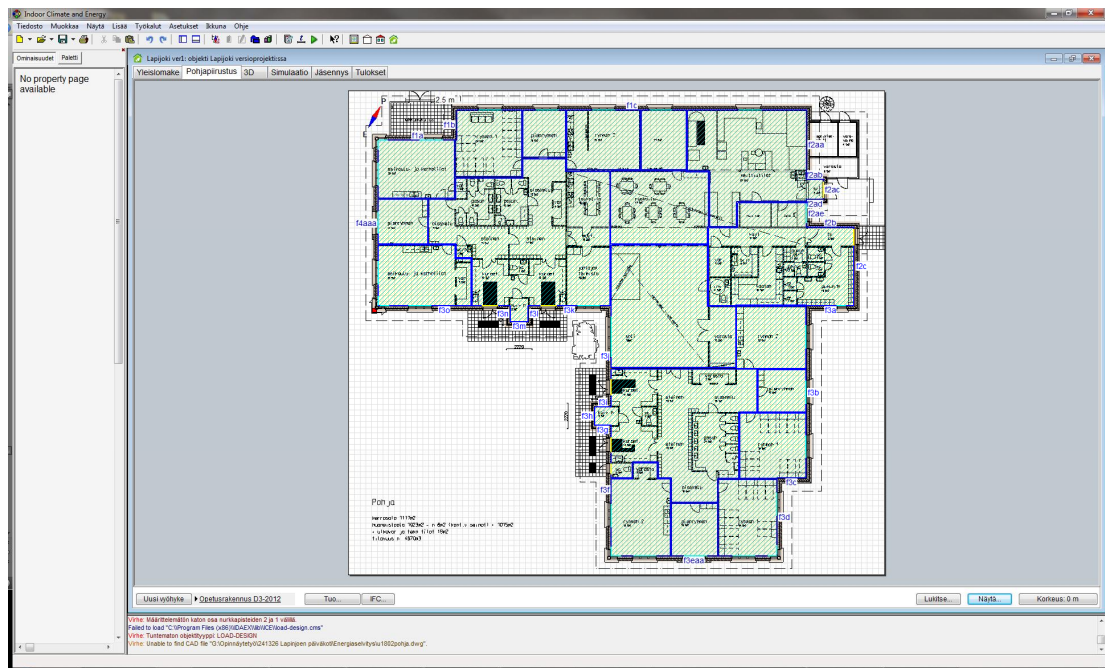
IDA ICE:ssa yksittäisen tilan geometria ja tilassa vaikuttavat talotekniset asetusarvot, kuormat ja aikataulut määritetään vyöhykkeittäin. Vyöhykkeet määritetään pohjapiirustuksen perusteella building bodyn rajojen sisäpuolelle. Mallin simulointien tulokset ovat niin ikään vyöhykekohtaisia.

Mallin vyöhykejako riippuu siitä, miten paljon eri tilojen käyttö ja sijainti poikkeavat toisistaan ja miten tarkasti simuloinnin tuloksia halutaan tarkastella. Energiankulutuksen laskentaa tehdessä kaikki tilat voidaan määrittää yhdellä vyöhykkeellä jos talotekniikan asetusarvot ovat keskimäärin samat eikä tilakohtaista säätöä ole. Lämpöolojen simuloinnissa tilat on jaettava tarkemmin, jotta tiloja voitaisiin tarkastella erikseen.

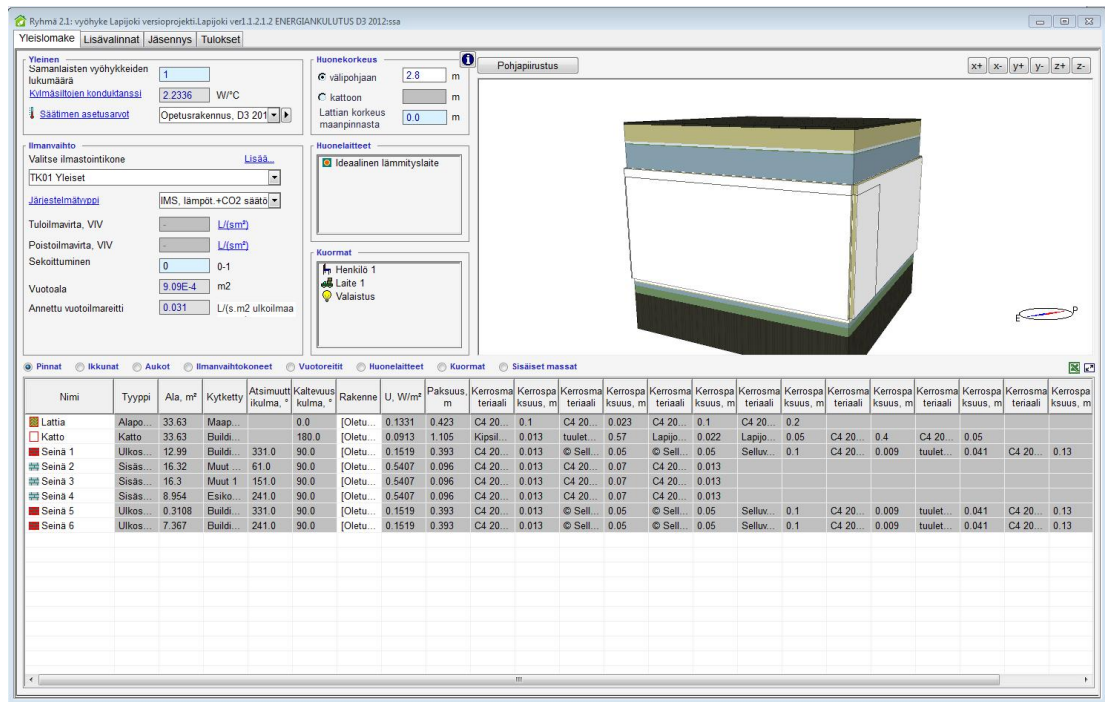
Kuvasta 5.12 nähdään tilanne ennen vyöhykejakoa ja kuvassa 5.13 tilanne vyöhykejaon jälkeen. Kuvassa 5.15 on esitetty vyöhykkeiden nimeä kuvaavat kirjaintunnukset, joiden avulla vyöhyke voidaan yhdistää myöhemmin taulukoissa esitettyihin vyöhykekohtaisiin tietoihin. Vyöhykekohtaisten tietojen syöttölomake IDA ICE:ssä on esitetty kuvassa 5.14.



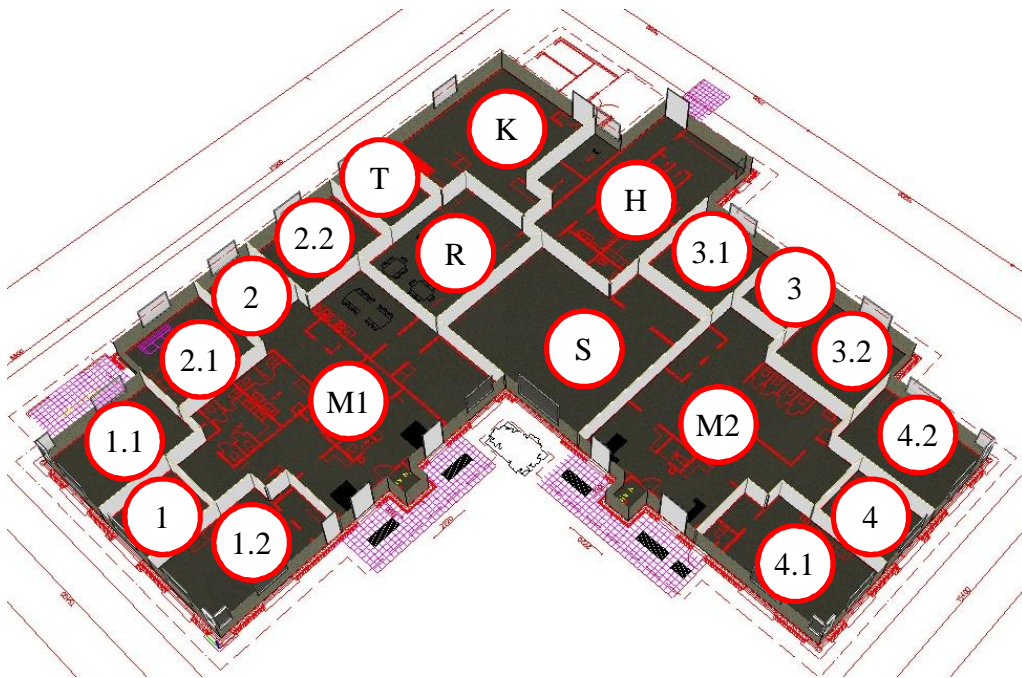
Kuva 5.12 Mallin building body määritetty. Ei vyöhykkeitä



Kuva 5.13 Vyöhykejako lisätty



Kuva 5.14 Vyöhykkeen ominaisuudet ja asetukset



Kuva 5.15 Vyöhykkeiden kirjaintunnukset

Taulukko 5.3 Vyöhykejako

Tunnus kuvassa	Vyöhykkeen nimi		Tunnus kuvassa	Vyöhykkeen nimi
1	Pienryhmä 1		M1	Muut 1
1.1	Esikoulu 1		M2	Muut 2
1.2	Esikoulu 2		S	Sali
2	Pienryhmä 2		3	Pienryhmä 3
2.1	Ryhmä 2.1		3.1	Ryhmä 3.1
2.2	Ryhmä 2.2		3.2	Ryhmä 3.2
T	Toimisto		4	Pienryhmä 4
K	Keittiö		4.1	Ryhmä 4.1
R	Ruokailu		4.2	Ryhmä 4.2

Kuvasta 5.15 nähdään, että vyöhykkeissä on jonkin verran yhdistelty keskialueen tiloja. Tiloja on voitu yhdistää, koska niiden ilmapirrat eivät säädä käytön mukaan ja tilojen käyttö ja kuormat ovat selvästi vähäisempiä kuin erikseen käsitellyissä tiloissa.

5.2.5 Talotekniikka ja sen asetusarvot

Alkutilanteen mallissa käytetään suunniteltuja asetusarvoja. Mallin LVI-tekniikka asetusarvoineen määritettiin LVI-suunnittelijalta saatujen asiakirjojen ja suullisten tiedonantojen perusteella.

Rakennuksen ilmanvaihto järjestetään kolmella ilmanvaihtokoneella, joiden tunnuks-
set ovat TK01, TK02 ja TK03. TK01 palvelee yleisiä tiloja, TK02 keskialuetta ja
TK03 keittiötä. Kohteen ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenotto on suunniteltu to-
teutettavaksi ristivirtalevyllämmönsiirtimillä (TK01 ja TK02). Siirtimien lämpöti-
lasuhteena käytettiin D5 2012 taulukossa 3.7 esitettyä arvoa 0,5 ja poistettavan ilman
minimilämpötilana 1 °C jäänmuodostumisen estämiseksi. Keittiön ilmanvaihtokoneen
TK03 talteenotto on suunniteltu toteutettavaksi nestekiertoisella LTO:lla, jonka läm-
pötilasuhteeksi määritettiin D5 2012 taulukossa 3.7 esitetty nestekiertoisen LTO:n
oletusarvo 0,4 ja minimilämpötilaksi 1 °C.

Käytöltään vaativimmissa tiloissa on ilmamääräsäätöinen järjestelmä, jota ohjataan
huoneen lämpötilan ja CO₂-pitoisuuden avulla. Yleisten tilojen ilmanvaihto on vakio.

Tuloilman lämpötilana käytettiin 16°C-astetta ja puhaltimessa tapahtuvana ilman lämpötilan nousuna 1°C. Kanavistot ovat lämpöeristettyjä, joten ilman lämpenemistä kanavistossa ei tarvitse huomioida. (12 s. 11) Ilmanvaihtokoneissa ei lähtökohtaisesti ole tuloilman jäähdytystä. LVI-suunnittelijalta saadut tilojen ilmavirrat ja säätö on esitetty vaikutusalueittain taulukoissa 5.4-5.7. Vyöhykkeissä, joissa tiloja on yhdistetty käytetään D3 mukaista tuloilmavirtaa 3 l/s, m². Yksittäisissä tiloissa käytetään suunniteltua ilmavirtaa.

Taulukko 5.4 TK01 ilmavirrat länsisiivessä

TK01 Ryhmätilat Länsisiipi	pinta-ala	tulo (max)	poisto (max)	säätö ja järjestelmä
	m ²	l/s	l/s	
esikoulu ja kerho	34	216	207	IMS, CO ₂ + lämpötila
pienryhmä	17	54	54	VIV
esikoulu ja kerho	35	216	207	IMS, CO ₂ + lämpötila
ryhmäh 1	33.5	216	216	IMS, CO ₂ + lämpötila
pienryhmäh.	16	54	54	VIV
ryhmähuone 2	38	216	216	IMS, CO ₂ + lämpötila
varasto	1.5	0	9	VIV
oleskelu	12	49		VIV
pesuhuone	16.5		80	VIV
varasto	5		9	VIV
oleskelu	7	40		VIV
eteinen	12	24		VIV
eteinen	12	24		VIV
varasto	5		9	VIV
kuraet.	14.5	25	73	VIV
WC	2		20	VIV
kuivaushuone	3			VIV
kuraet.	14.5	25	73	VIV
		1159	1227	
		tulo/poisto	0.94	

Taulukko 5.5 TK01 ilmavirrat itäsiivessä

TK01 Ryhmätilat Itäsiipi	pinta-ala	tulo	poisto	säätö ja järjestelmä
	m ²	l/s	l/s	
ryhmähuone 2	35	216	216	IMS, CO ₂ + lämpötila
kuraet.	14.5	25	73	VIV
WC	2		20	VIV
kuivaushuone	3			VIV
kuraet.	14.5	25	73	VIV
eteinen	12	24		VIV
eteinen	12	24		VIV
varasto	5.5		9	VIV
oleskelu	12	49		VIV
pesuhuone	17.5		80	VIV
pienryhmäh.	16	54	54	VIV
ryhmähuone 1	33.5	216	216	IMS, CO ₂ + lämpötila
oleskelu	7	40		VIV
varasto	5		9	VIV
ryhmähuone 2	35	216	207	IMS, CO ₂ + lämpötila
pienryhmähuone	17	54	54	VIV
ryhmähuone 1	34	216	216	IMS, CO ₂ + lämpötila
		1159	1227	
		tulo/poisto	0.94	
		tulo	poisto	
	yht.	2318	2454	
		tulo/poisto	0.94	

Taulukko 5.6 TK02 ilmavirrat

TK02 Yleiset tilat	pinta-ala	tulo	poisto	säätö ja järjestelmä
	m ²	l/s	l/s	
vaatehuolto	8		32	VIV
siivous	9		36	VIV
taukotila	21.5	108	108	VIV
ruokailu	37	185	107	VIV
käytävä	7	14	14	VIV
tst	15	30	30	VIV
JUHLASALI	101	606	606	IMS, CO ₂ + lämpötila
tst	20.5	40	40	VIV
tk	11.5	0	0	-
käytävä	11.5	24	24	VIV
wc/inv	5.5		30	VIV
var	5		9	VIV
var	11		9	VIV
pkh/m	6	36	16	VIV
ph/wc/m	3.5		20	VIV
wc	2		20	VIV
sh	1.5		20	VIV
wc	2		20	VIV
pkh/n	16.5	148	112	VIV
		1191	1253	
		tulo/poisto	0.95	

Taulukko 5.7 TK03 ilmavirrat

TK03 Keittiö	pinta-ala	tulo	poisto	säätö ja järjestelmä
	m ²	l/s	l/s	
keittiö	90.5	1400	1500	

Suunnittelun lähtökohtana on saavuttaa sisäilmaluokka S2 ilmamäärien osalta ja S3 huonelämpötilojen osalta. Asetusarvojen määrittäminen IDA ICE:ssä on esitetty kuvassa 5.16. Energiaselvitys on osa suunnitteluprosessia. Tästä syystä esitetyt ilmavirrat, säätö ja asetuservot ovat alustavia ja saattavat muuttua energiaselvitystä tehdessä. Tilojen lämmityksen, jäähdytyksen ja ilmanvaihdon asetuservot on esitetty taulukossa 5.8. Yleisissä asetuservoissa ei ole määritetty maksimilämpötila, eli jäähdytysrajaa, eikä CO₂:n ylärajaa, koska niiden ilmanvaihto ei säädy tarpeen mukaan.

Taulukko 5.8 Lämmityksen, jäähdytyksen ja ilmanvaihdon asetusarvot

	CO ₂		Lämpötila		ilmanvaihto käyt. min. l/s,m ²
	min. ppm	max.	min. °C	max. °C	
Yleisesti	-	-	21	-	0.5
CO ₂	600	1100	21	25	0.5
Keittiö	-	-	21	25	0.5

Asetusarvot

Asetusarvot Opetusrakennus, D3 2012 IMS

Säätöarvot

Lämpötilat	Min	21	Maks	25	°C
Tuloilmavirta		0.15		3	L/(sm ²)
Poistoilmavirta		0.15		3	L/(sm ²)
Suhteellinen kosteus		20		80	%
CO ₂ -pitoisuus		600		850	ppm (vol)
Valaistusvoimakkuus työtasolla		100		10000	Lux
Paine-ero vaipan yli		-20		-10	Pa

Maksimi-lämmitys 21

Maksimi-jäähdytys 25

Suhdealue (=temp_throttle) =

Ilman

Lämmityksen ja jäähdytyksen säädön toiminta riippuu valituista säätimistä. Oletuksina ovat lämmityslaitteille P-säädin ja jäähdytyslaitteille PI-säädin.

* kun sekä IMS ja muut jäähdytysmenetelmät on määritetty, IMS:iä käytetään ensin ja muiden huoneyksiköiden asetusarvoja muutetaan 2.0 °C. (vaihda yleisesti järjestelmäparametreissa)

Muuttuvat säätöarvot

Lämmityksen asetusarvo <arvoa ei ole asetettu>

Jäähdytyksen asetusarvo <arvoa ei ole asetettu>

Objekti

Nimi Opetusrakennus, D3 2012 IMS

Kuvaus D3 2012 (opetusrakennus), taulukko 2, ilmavirrat sekä lämmitys- ja jäähdytysrajat

OK Peru Tallenna nimellä... Ohje

Kuva 5.16 Vyöhykkeen asetusarvojen määrittäminen IDA ICE:ssä

5.2.6 Käyttö ja kuormat

Henkilömäärät ja käyttö määritettiin LVI-suunnittelijalta saatujen asiakirjojen ja suullisten tiedonantojen perusteella. Suunnitellut henkilötiheydet poikkesivat joidenkin tilojen osalta D3 2012 rakennustyyppikohtaisista henkilötiheyksistä. Suunnitellulla käytöllä henkilötiheydeksi laskettiin $0,3\text{--}0,7 \text{ hlö/m}^2$. D3 2012 mukainen henkilötiheys päiväkodissa on $0,2 \text{ hlö/m}^2$. Tiloissa, joiden henkilötiheyttä ei oltu erikseen määritetty, käytettiin D3:n oletusta $0,2 \text{ hlö/m}^2$. Valaistuksen ja laitteiden lämpökuormina käytettiin D3:n mukaisia opetusrakennusten ja päiväkotien lämpökuormia. Valaistuksen lämpökuormana käytettiin 18 W/m^2 ja laitteiden lämpökuormana 8 W/m^2 .

Myös käyttöajat poikkesivat D3:ssa määritetyistä. Kohteen vuorohoito-osasto, vyöhykkeet 2, 2.1 ja 2.2, on käytössä ympäri vuorokauden ja seitsemän päivää viikossa, kun D3:n mukainen käyttöaika on maanantaista perjantaihin kello kahdeksasta neljään (7 s. 15). Joitain kohteen tiloja on suunniteltu käytettäväksi vuorotellen, mutta tässä tutkimuksessa keskitytään tutkimaan tiloja erikseen ns. mitoittavalla eli suurimmalla niille suunnitellulla kuormalla. Henkilöiden kokonaislämmönluovutuksena käytettiin 110 W vastaavaa $1,0 \text{ met.}$ (7 s. 20) Yleisesti, kaikki tutkimuksessa käytetyt käyttöajat ja kuormat ovat vähintään D3:n mukaiset.

Lämpimän käyttöveden kierron aiheuttama kuorma on laskettu D5 2012 mukaan käyttäen ominaispituutta $0,02 \text{ m/m}^2$ ja lämpöhäviötä 8 W/m . Näiden tulona saadaan lämpöhäviöksi $0,16 \text{ W/m}^2$, joka syötetään IDA:n lisäenergia ja lämpöhäviöt kohdassa. D5:n mukaan kuorman osuus häviöistä on 50%, joka sekin syötetään IDA:an. (26 s. 46) D3 laskentaoppaan mukaan myös mukavuuslattialämmityksen tuoma lämpökuorma kesäajaksolla pitää huomioida (12 s. 12). Mallinnuksessa oletetaan, että mukavuuslattialämmitystä ei ole ja että lämmitys säätyy huonelämpötilan perusteella.

6 SIMULOINNIT

6.1 Tyypпитilojen valinta

6.1.1 Alkutilanteen simulointi

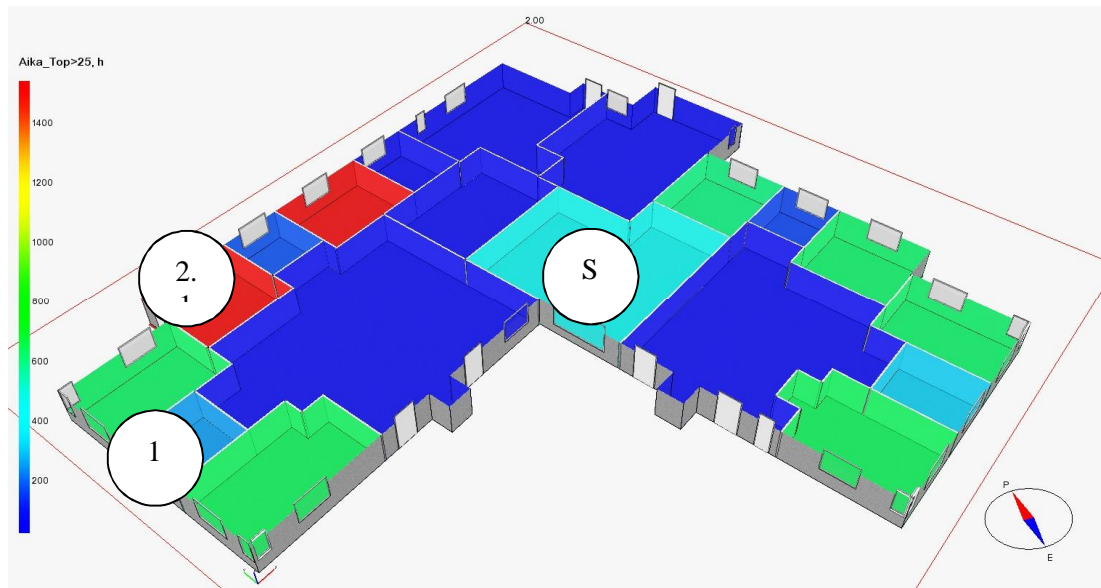
Simuloinnin 'alkutilanteessa' käytettiin alkutilanteen lähtötietoja. Simulointiajanjaksona käytettiin aikaväliä 1.6.2012-31.8.2012. Alkutilanteen simuloinnin tavoitteena on selvittää, missä tiloissa lämpötila ylittää 25°C ajallisesti eniten. Vaikeimmista tiloista valitaan 'tyyppitilat', jotka edustavat rakennuksen muita käytöltään ja kuormiltaan vastaavia tiloja. Voidaan olettaa, että jos olosuhteiltaan vaikein tila täyttää lämpöoloille ja sisäilmastolle asetetut vaatimukset, niin myös muut vastaavat tilat täyttävät vaatimukset.

6.1.2 Tulokset ja johtopäätökset

Alkutilanteen simuloinnin tuloksista voidaan päätellä, että lämpöoloiltaan vaikeimmat tilat ryhmätilat, pienryhmätilat ja sali. Tarkasteltaviksi tyyppitiloiksi valitaan

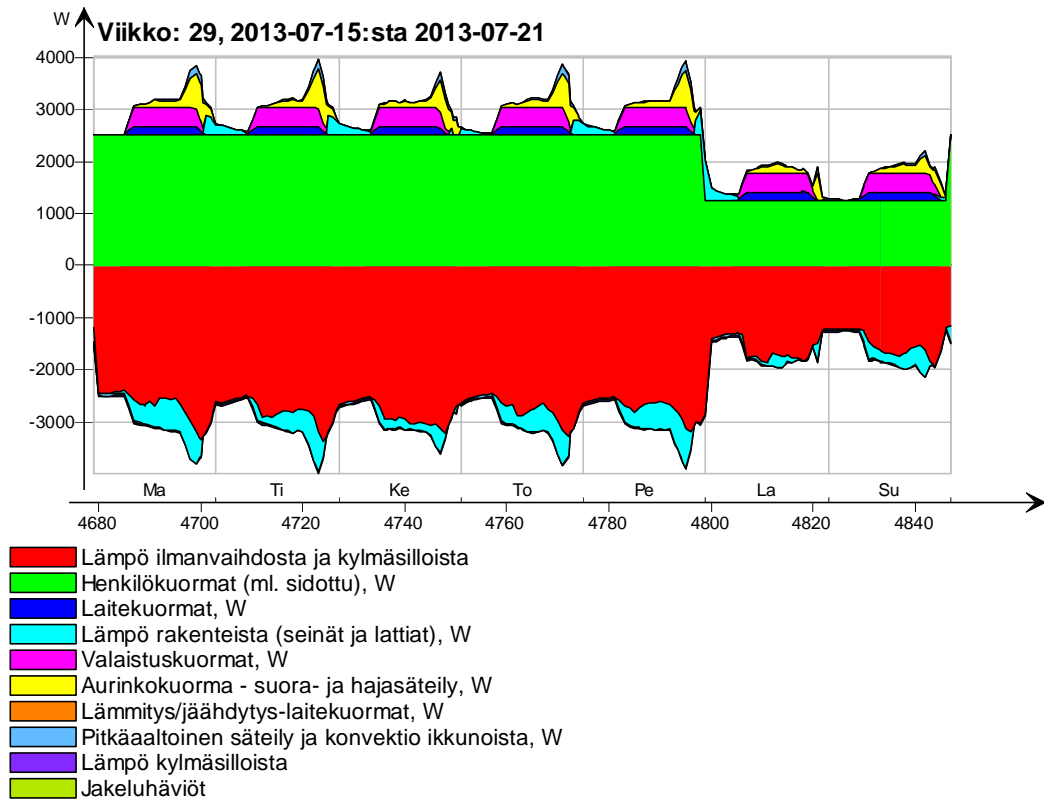
- ryhmä 2.1, joka on alkutilanteen perusteella haastavin,
- pienryhmä 1, joka edustaa pienryhmiä ja
- sali, joka poikkeaa käytöltään ryhmä- ja pienryhmätiloista

Tilat on merkitty kuvaan 6.1.

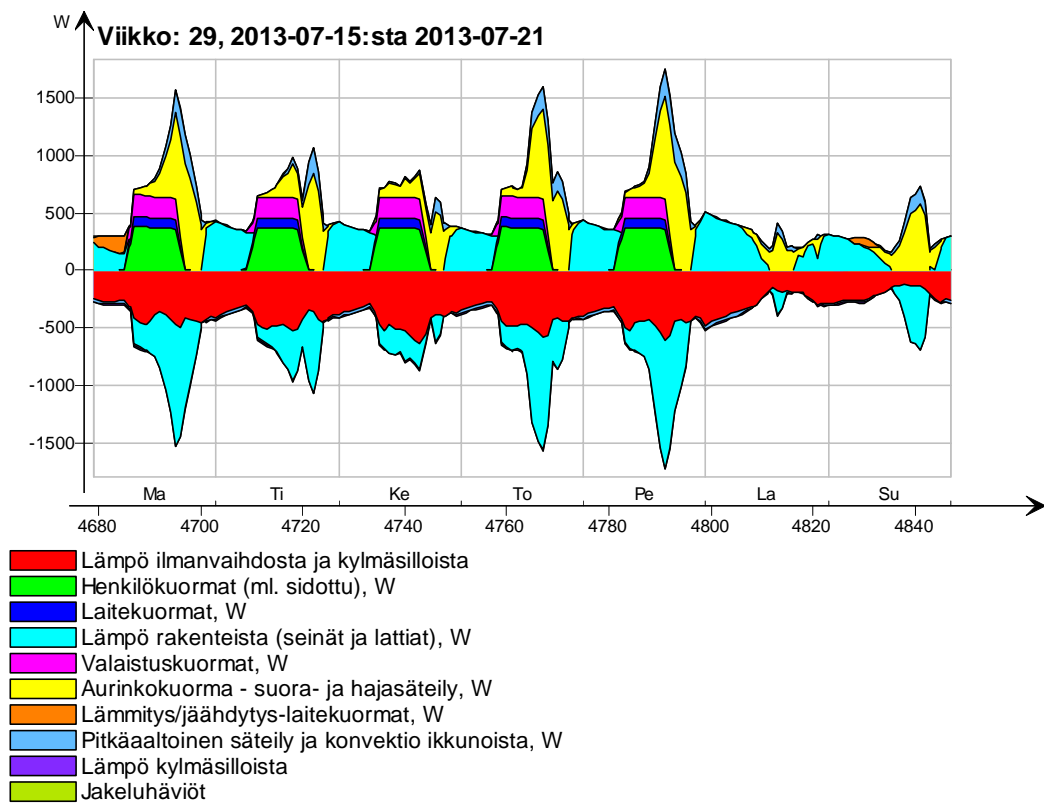


Kuva 6.1 Alkutilanteen huonelämpötila tuntia h yli 25°C. Skaala 0-1500

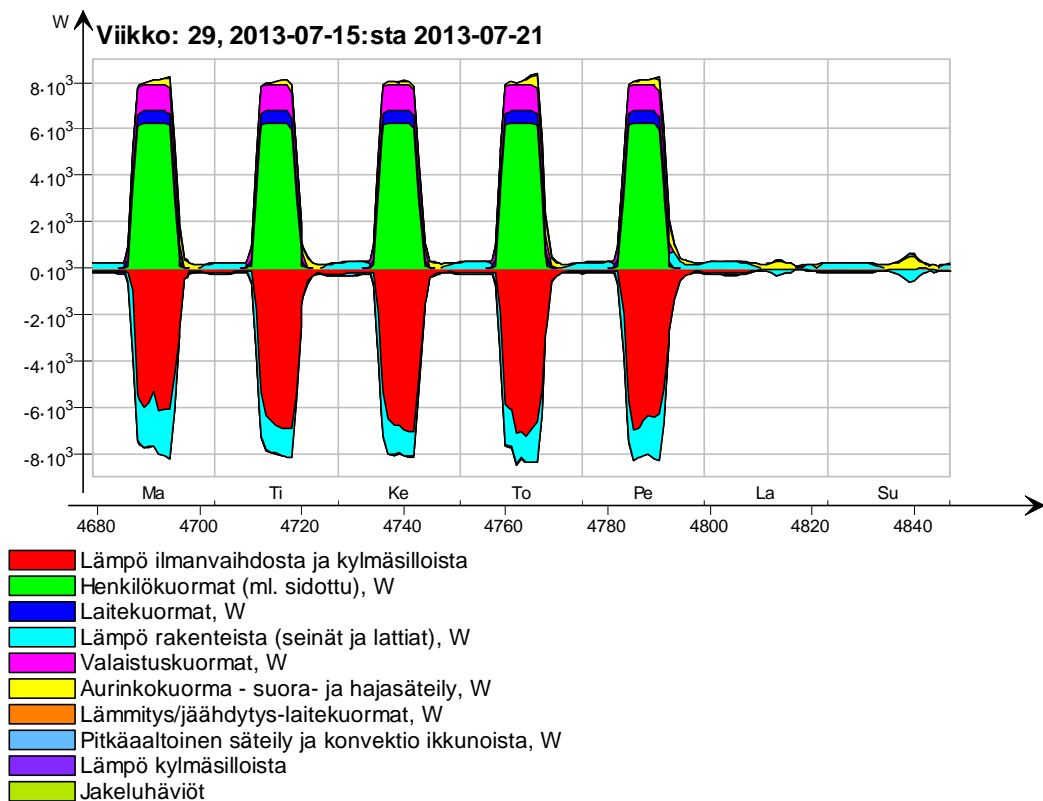
Ryhmä 2.1:ssä ja muissa ryhmähuoneissa merkittävin lämpökuorman aiheuttaja on käyttö, tarkemmin ihmiset. Ryhmä 2.1:n lämpötase on esitetty kuvassa 6.2. Pienryhmä 1:n tapauksessa käyttö on merkittävin, mutta auringon osuus suurempi kuin ryhmä 2.1:ssä. Auringon aiheuttama kuorma näyttää skaalauksen vuoksi suurelta, mutta on käytännössä samaa luokkaa kuin ryhmä 2.1 tapauksessa. Pienryhmä 1:n lämpötase on esitetty kuvassa 6.3. Salissa auringon vaikutusta lämpötaseeseen ei juuri huomaa, vaan käyttö on merkittävin kuorman aiheuttaja. Salin lämpötase on esitetty kuvassa 6.4.



Kuva 6.2 Lämpötase, ryhmä 2.1



Kuva 6.3 Lämpötase, pienryhmä 1



Kuva 6.4 Lämpötase, sali

Lämpötaseista voidaan päätellä, että auringon aiheuttamaa lämpökuormaa on syytä vähentää, mutta käytön aiheuttaman lämpökuorman vähentämiseksi tullessa tarvitsemaan koneellista jäähdytystä. Salissa auringon lämpökuorma on vähäistä, koska siellä ei ole ikkunoita.

6.2 Kesäajan huonelämpötilat, D3 2012

6.2.1 Tavoite

D3 2012:ssa on määrätty, että kesäajan huonelämpötila ei saa ylittää käyttötarkoituksaluokan jäähdytysrajan lämpötilaa enemmän kuin 150 astetuntia 1. kesäkuuta ja 31. elokuuta välisenä aikana. Tilojen ylikuumenemisen estämiseksi on ensisijaisesti käytettävä rakenteellisia ja passiivisia keinoja. (7 s. 9)

6.2.2 Lämpökuorman vähentäminen

Ennen kuin jäähdytystä voidaan suunnitella on jäähdytyksen tarve minimoitava. Käytännössä tämä tarkoittaa lämpökuormien vähentämistä. Tässä projektissa lämpökuormiin ei voida vaikuttaa kuin auringon osalta. Lämpökuormaa on mahdollista vähentää myös valaistuksen osalta, mutta sitä ei käsitellä tässä tutkimuksessa.

Kuorman vähentämiseksi käytettävien keinojen soveltuvuuden selvittämiseksi päätettiin simuloida kolme eri tilannetta erilaisilla auringonsuojamenetelmillä. Simuloidut tilanteet on esitetty taulukossa 6.1.

Taulukko 6.1 Simuloitavat caset

Case 1	Sälekaihtimet uloimpien lasien välissä (aina alhaalla)
Case 2	Auringonsuojalasit
Case 3	Sälekaihtimien ja auringonsuojalasien yhdistelmä

Auringonsuoja menetelmät valittiin käytännön syistä. Oikein toteutettu ulkoinen suojaus toimisi teoriassa sälekaihtimia paremmin, mutta kaihtimet valittiin säädettävyytensä vuoksi.

Alkutilanteessa ikkunoiden g-arvoksi oli määritetty 0,5. Sälekaihtimien ja lasin yhdistelmän g-arvo määritetään IDA:ssa kertoimella, jolla kuvastaa suojaamattoman ja suojatun tilanteen g-arvojen suhdetta. Simuloinnissa käytettiin IDA:n lasiin integroidun suojauksen oletusarvoja, jotka on esitetty kuvassa 6.5. IDA:n oletus arvo sälekaihtimille vastaa D5 2012 annettuihin auringonsuojien verhokertoimiin, jotka on esitetty kuvassa 6.6.

Integroitu suojaus [Oletus] Sälekaihtimet uloimpien lasien välissä

Integroidun suojauksen parametrit (verhot, kaihtimet jne.)

kerroin ikkunan + suojauksen yhdistelmän n-arvolle lasitukseen verrattuna	0.33	-	Kertoimet muuttavat ikkunan vastaavia parametreja, kun integroitu suojaus on 'kiinni'
kerroin ikkunan + suojauksen yhdistelmän T-arvolle lasitukseen verrattuna	0.12	-	
kerroin ikkunan + suojauksen yhdistelmän U-arvol	0.95	-	
Diffusion factor	1	-	1 = fully diffuse 0 = no diffusion

Objekti

Nimi Sälekaihtimet uloimpien lasien välissä

Kuvaus

OK Peru Tallenna nimellä... Ohje

Kuva 6.5 Sälekaihtimien vaikutus g-arvoon IDA:ssa

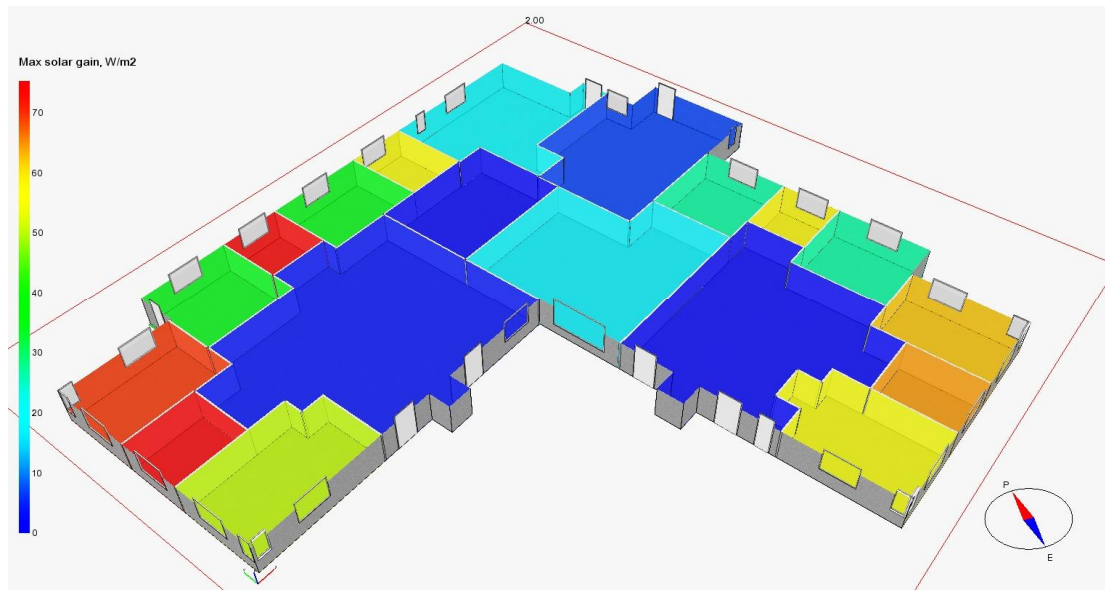
Taulukko 5.2. Verhokertoimia F_{verho} auringonsuojille.

Ratkaisu	Verhokerroin
Ei verhoa	1,00
Verhot	0,75
Valkoiset sälekaihtimet lasien välissä	0,30
Valkoiset sälekaihtimet sisäpuolella	0,60
Ikkunaluukut (säleikkö) ulkopuolella	0,30

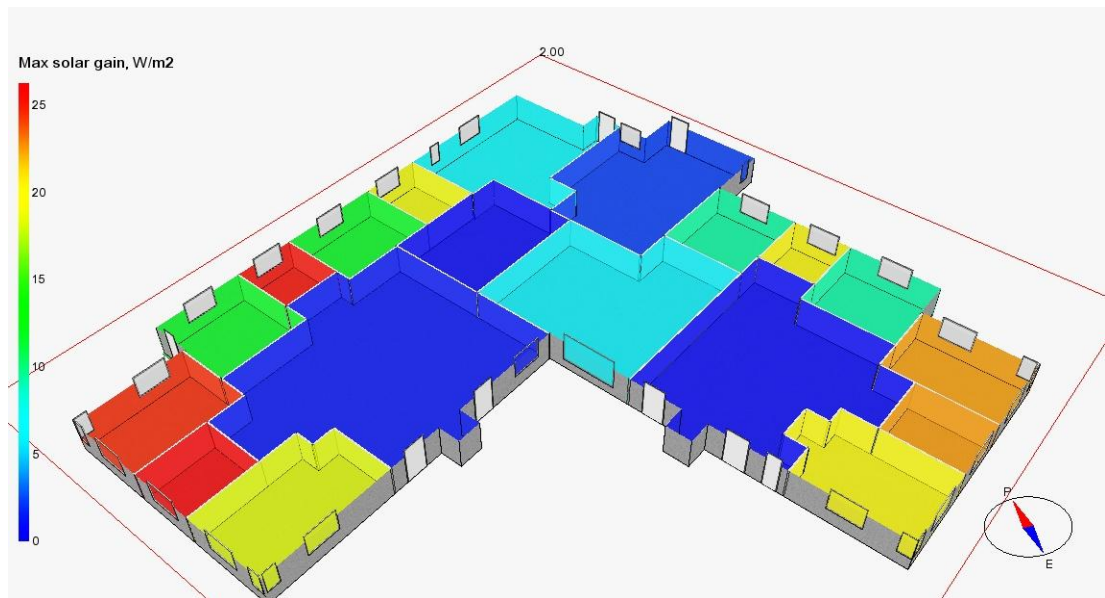
Kuva 6.6 D5 2012 verhokertoimet (26 s. 34)

Auringonsuojalasiksi määritettiin Pilkington Suncool Classic, jonka g-arvo on IDA-ICE:n tietokannan mukaan 0,2, eli noin puolet lähtötilanteen ikkunoiden g-arvosta.

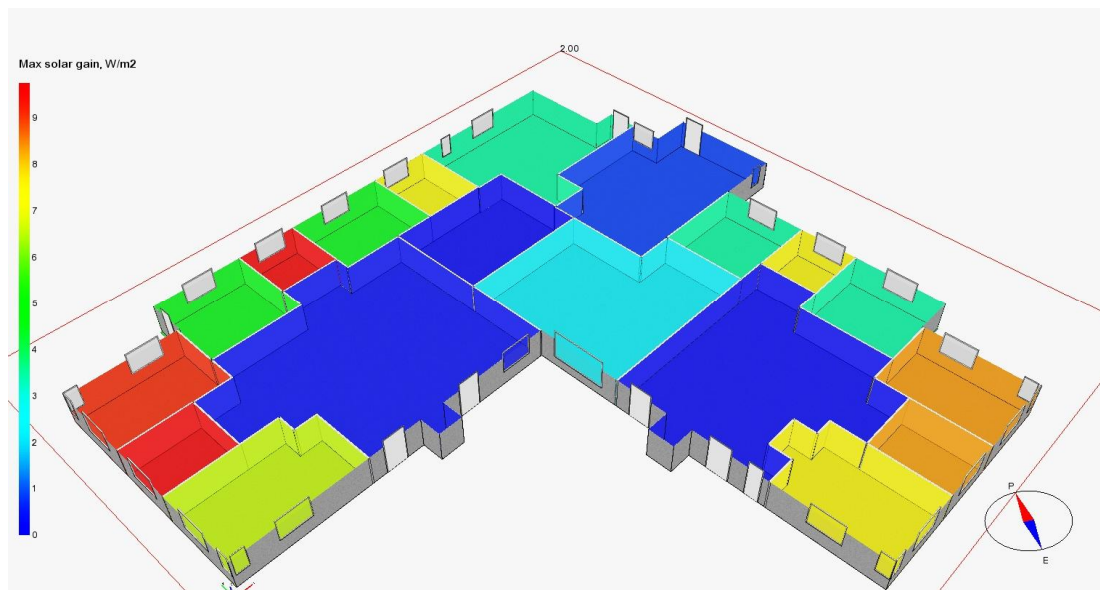
IDA:ssa on mahdollista tarkastella suurinta auringon simulointijakson aikana aiheuttamaa lämpökuormaa vyöhykkeen lattiapinta-alaa kohden. Tätä ominaisuutta hyödynnettiin eri tilanteiden tulosten vertailussa tarkasteltaessa auringonsuojauksen vaikutusta lämpökuormiin. Kuvissa 6.7-6.9 on esitetty auringonsäteilyn muutos eri tilanteissa. Kuvissa kuorman määrää indikoivat värit ovat samat, mutta käytettävä skaala on eri.



Kuva 6.7 Max solar gain W/m^2 , alkutilanne, skaala 0-70



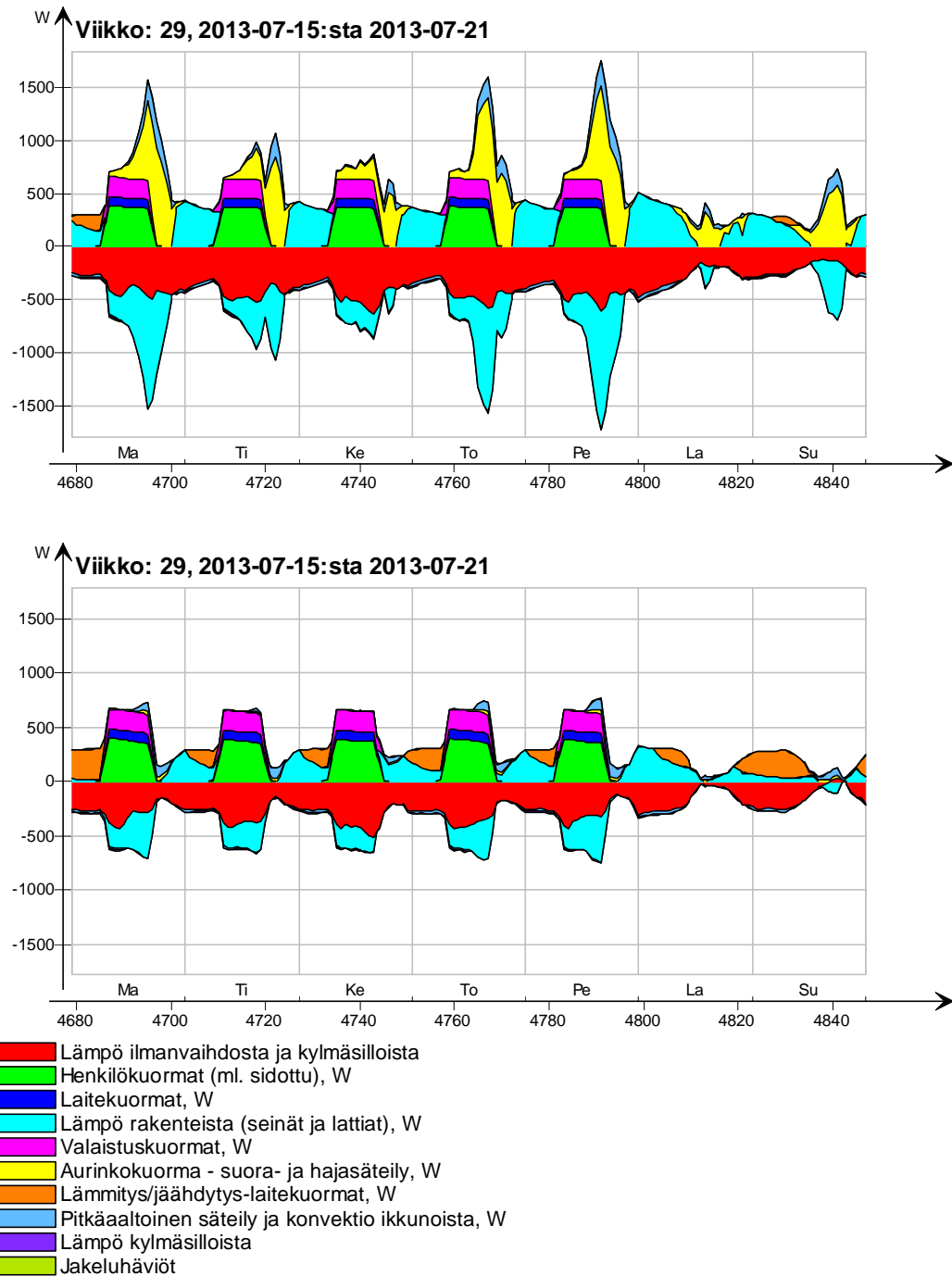
Kuva 6.8 Max solar gain W/m^2 , sälekaihtimet, skaala 0-25



Kuva 6.9 Max solar gain W/m^2 , sälekaihtimet ja auringonsuojalasit, skaala 0-9

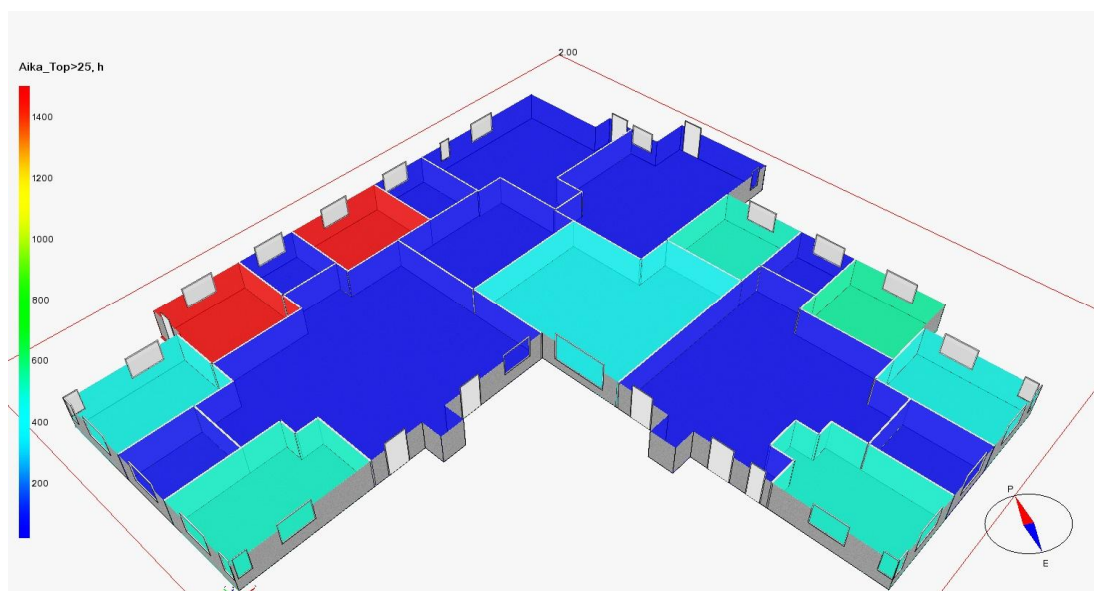
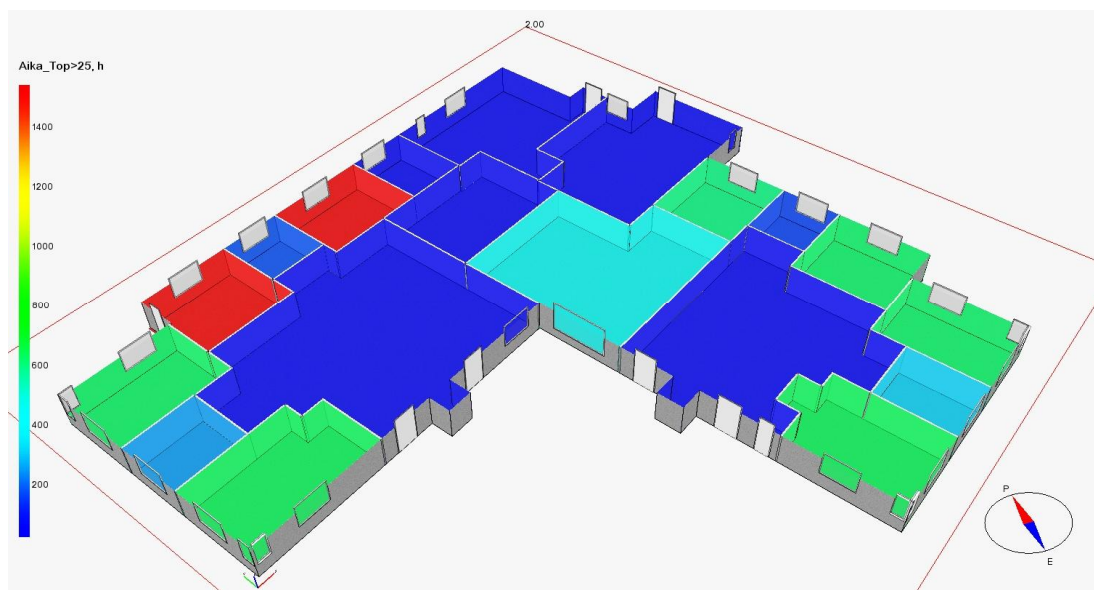
Sälekaihtimien ja lasien avulla pystytään tehokkaasti vähentämään auringon lämpökuormaa. Lämpötasetta ennen aurinkosuojausta ja suojauksen jälkeen on vertailu kuvassa 6.10. Kuvasta nähdään, että auringon suorasta säteilystä aiheutuva lämpökuorma on enää vähäistä, mutta auringon säteily vaikuttaa epäsuorasti ikkunoista tulevana pitkäaaltoisena säteilynä ja konvektiona, kun sälekaihtimet ja lasi ensin absorboivat säteilyä ja sitten luovuttavat sen tilaan.

Huomattavaa on myös, että jälkimmäisessä tilanteessa pienryhmä 1:ssä on lämmityksen tarvetta. Tämä johtuu siitä, että tilassa on vakioilmavaihto, joka ei siis säädy lämpötilan mukaan. Tila jäähtyy hallitsemattomasti aikoina, joina tiloissa ei ole lämpökuormaa ja ulkoilman lämpötila mahdollistaa asetetun tuloilman lämpötilan, 17°C astetta, saavuttamisen. Koska ylemmässä taseessa ei näy lämmityslaitteiden lämpökuormia, siitä voidaan päätellä, että ilman auringonsuojausta tarkastelu jaksolla rakenteisiin päivällä varastoitunut lämpö riittää suurimman osan ajasta pitämään tilan lämmitysrajan yläpuolella.



Kuva 6.10 Lämpötase auringonsuojauksella, pienryhmä 1

Kun tarkastellaan vaikutusta huonelämpötiloihin huomataan, että lämpötilat ovat laskeneet jonkin verran mutta eivät kuitenkaan määräysten mukaiselle tasolle. Huonelämpötilat on esitetty kuvassa 6.11.



Kuva 6.11 Alkutilanne ja sälekaihtimet + lasit, huonelämpötila tuntia h yli 25°C.
Skaala 0-1500

6.2.3 Lämpökuorman poistaminen koneellisesti

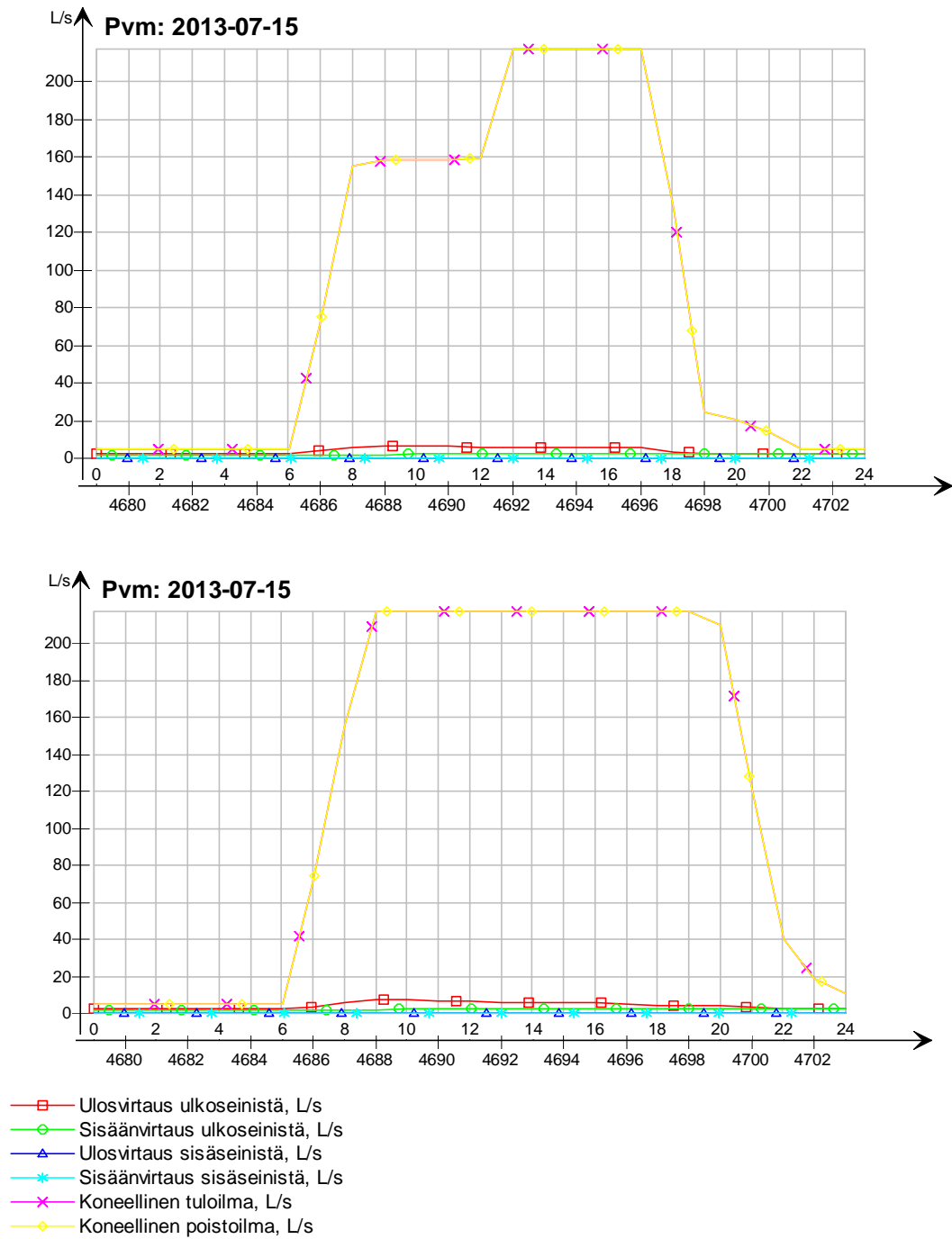
Lämpökuorman koneellisesta poistamisesta tehdään kolme simulaatiota. Simulaation pohjana, case 0:na, käytetään valitun aurinkosuojauksen tuloksia. Case 1:ssä vyöhykkeiden jäähdytysraja muutetaan 25°C -asteesta 23°C-asteeseen. Näin ilmanvaihto saadaan reagoimaan lämpötilan nousuun aiemmin, minkä johdosta ilmanvaihtuvuus tilassa tehostuu. Case 1 tuloksia verrataan case 0 tuloksiin. Case 2:ssa lisätään tuloilman jäähdytys ja määritetään vyöhykkeiden jäähdytyksen asetusarvoksi 25°C. Case 3 on kuten case 2, mutta jäähdytyksen asetusarvoksi asetetaan 23°C. Simuloitavat tilanteet on esitetty taulukossa 6.2.

Taulukko 6.2

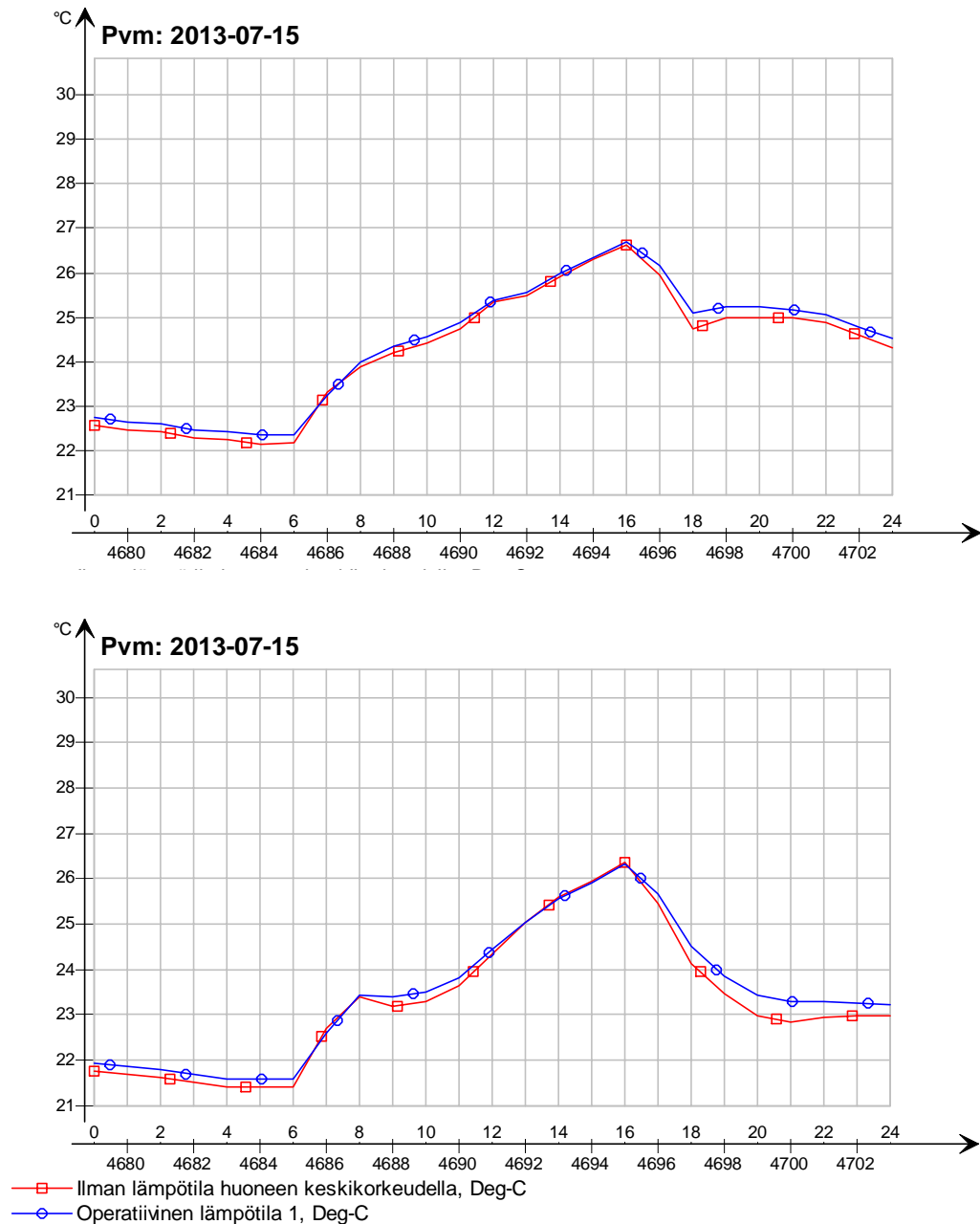
Case 0	=6.2.2 Lämpökuorman vähentäminen, case 3
Case 1	Ei tuloilman jäähdytystä, jäähdytyksen asetusarvo 23°C
Case 2	Tuloilman jäähdytys, jäähdytyksen asetusarvo 25°C
Case 3	Tuloilman jäähdytys, jäähdytyksen asetusarvo 23°C

Yötuuletuksen vaikutusta ei tutkittu, koska tilassa 2.1 on ympärivuorokautista käyttöä eikä tuuletus näin ollen ole mahdollista.

Ilmamäärien muutos eri tilanteiden välillä on esitetty kuvassa 6.12. Ylhäällä kuvassa on case 0 tilanne jäähdytyksen asetusarvolla 25°C ja alhaalla case 1 asetusarvolla 23°C. Huoneen lämpötilat on esitetty kuvassa 6.13.



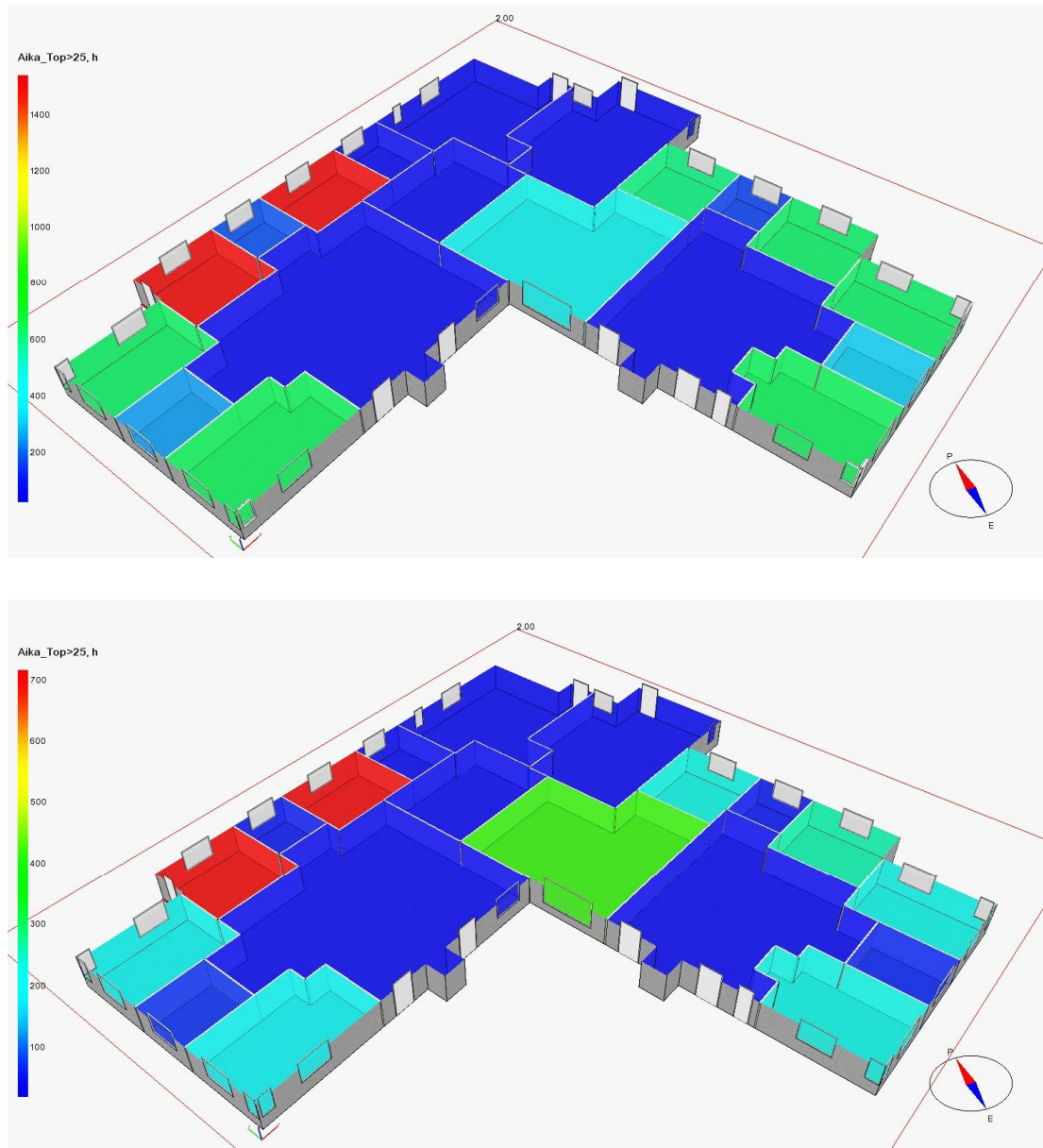
Kuva 6.12 Ilmavirrat esikoulu 1.1:ssä jäähdytyksen eri asetusravoilla



Kuva 6.13 Lämpötilat esikoulu 1.1:ssä jäähdytyksen eri asetusarvoilla

Ylhäällä kuvassa 6.12 nähdään, että ilmamäärä säätyy aluksi CO₂ :n perusteella ja tehostuu myöhemmin lämpötilan noustessa. Alhaalla kuvassa ilmamääräsäätö pyrkii pitämään lämpötilan 23°C asteessa ja saavuttaa maksivirtaaman nopeammin. Huoneen lämpötiloista nähdään ilmavaihdon jäähdyttävä vaikutus alussa ja klo 9 kohdalla. Asetusarvolla 23°C tila on jäähtynyt käytön ulkopuolella enemmän kuin asetusarvolla 25°C, mikä näkyy lähtötilanteen hieman alempana lämpötilana. Ilmanvaihto hillitsee jonkin verran lämpötilan nousua, muttei riittävästi pitääkseen huoneen lämpötilaa 23°C asteessa käytön aikana.

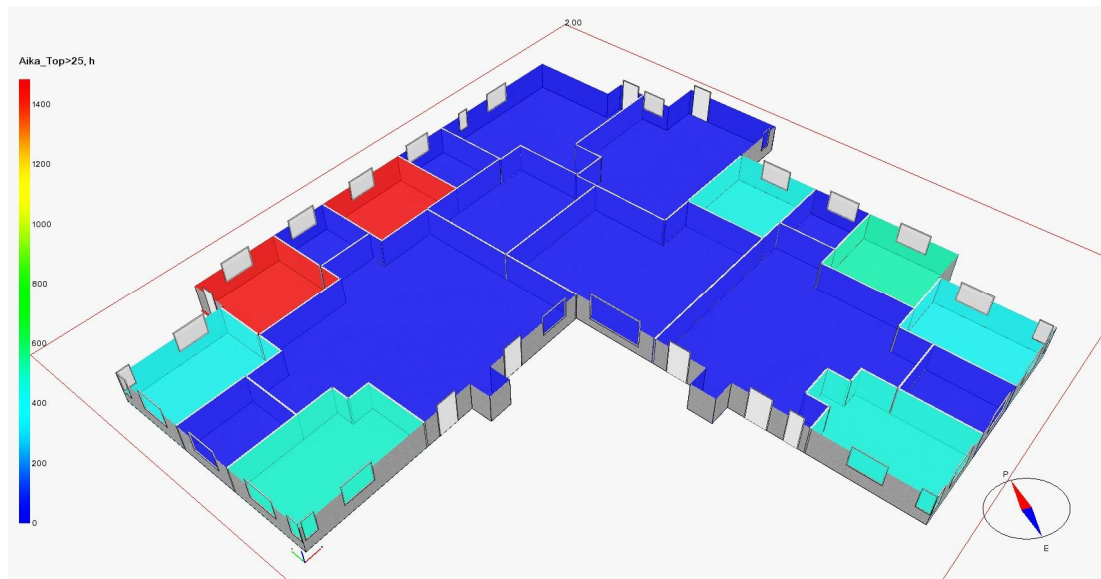
Koko rakennusta tarkasteltaessa huomataan, että asetusarvon muuttamisella on kuitenkin merkittävä vaikutus astetuntilukuun 25°C:h. Kuvasta 6.14 nähdään, että astetuntiluku on keskimäärin puolittunut. Ryhmä 2.1 ja 2.2 lukuun ottamatta asetusarvon muuttaminen johtaa myös siihen, että ilmanvaihto jäähdyttää tilaa hieman tehokkaammin käytön ulkopuolella.



Kuva 6.14 Astatuntiluku 25°C:h, case 0 ja case 1

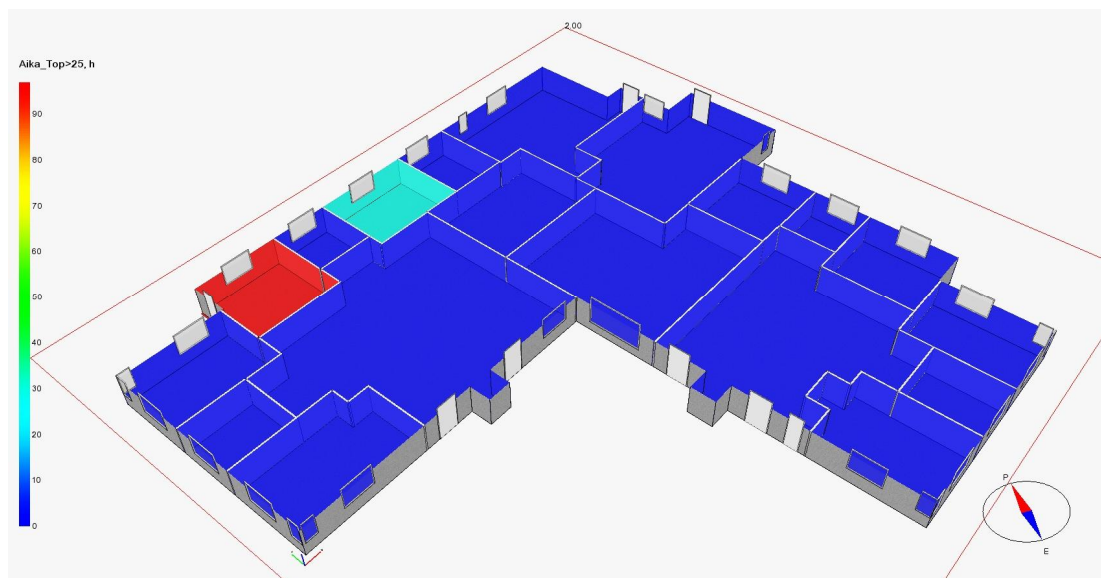
Case 2:ssa ilmanvaihdon jäähdytystehoa lisätään tuloilman jäähdytyksellä. Aiemmin tuloilman lämpötila määräytyi käytännössä ulkolämpötilan perusteella jäähdytyskaudella. Vyöhykekohtaiset astetuntiluvun ylitykset on esitetty kuvassa 6.15. Kuvasta

nähdään, että jäähdytysteho on riittämätön poistamaan kaiken tilojen lämpökuorman, minkä vuoksi lämpötila nousee yli sallitus 25°C .



Kuva 6.15 Aстетuntiluku 25°C , case 2

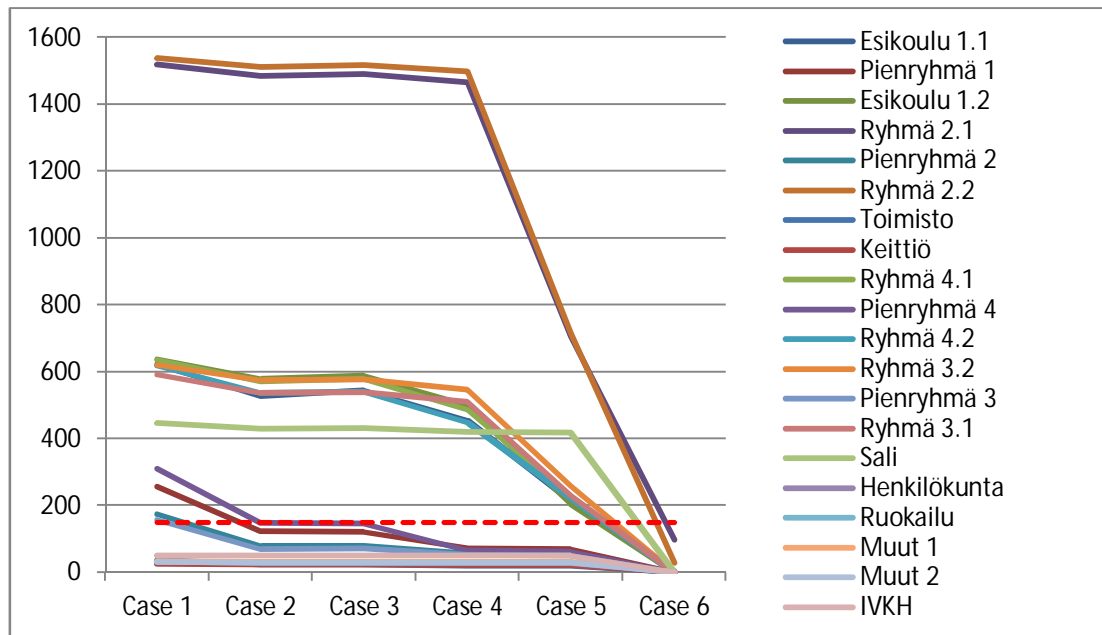
Case 3:ssa tuloilmanjäähdytyksen lisäksi jäähdytyksen asetusarvo asetetaan 23°C asteeseen, jotta ilmanvaihto ennakoisi lämpötilan nousua kuten casessa 1. Tällä tavoin astetuntiluku 25°C saadaan pysymään 150°C alapuolella koko tarkastelujakson aikana kaikissa vyöhykkeissä. Kuvassa 6.16 on esitetty case 3:n astetuntiluku 25°C tarkastelujaksolla.



Kuva 6.16 Aстетuntiluku 25°C , case 3

6.2.4 Havainnot

Kun auringonsuojauksen ja koneellisen jäähdytyksen tilanteet on simuloitu voidaan todeta, D3 2012 vaatimuksen mukainen astetuntiluvun 25 °Ch enimmäisarvo 150 saavutetaan suunnitelluilla ilmavirroilla ja tuloilman jäähdytyksellä, kun tuloilman lämpötila on 17°C (asetusarvo 16° + puhaltimen lämmittävä vaikutus 1°C). Kaikkien vyöhykkeiden astetuntiluku 25°CCh on esitetty kuvan 6.17 kuvaajassa.



Kuva 6.17 Astetuntiluvun 25°C muutos eri tilanteissa

Kuvaajassa punainen poikkiviiva osoittaa enimmäisarvon 150. Kuvasta nähdään, että pienryhmissä astetuntiluvun enimmäisarvo alitettiin jo auringonsuojauksen avulla. Salissa auringonsuojauksen vaikutus on huomattavasti pienempi, koska tilassa on suhteessa vähemmän ikkunapinta-alaa.

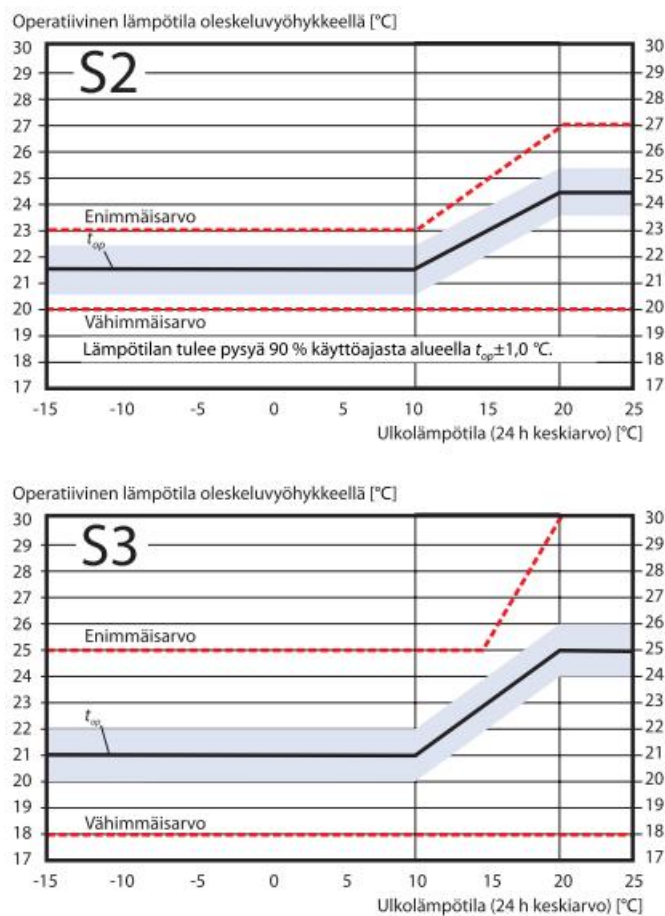
Pienryhmä 1 lämpöasetta tarkasteltaessa huomattiin, että vakioilmavirta aiheuttaa lämmityksen tarvetta jäähdytyskaudella käytön ulkopuolella. Tämä seikka on huomioitava automaatiossa siten, ettei tilaa lämmitetä tarpeettomasti. Lämmityksen tarvetta voidaan vähentää asettamalla tilan lämmitysraja siten, että tilan sallitaan jäähtyä alle normaalin asetusarvon. Toinen vaihtoehto on vähentää ilmanvaihtoa käytön ulkopuolella. Ilmanvaihdon tarpeenmukainen säätö säästää myös ilmanvaihtokoneen käyttökustannuksissa.

Varsinaisessa energiaselvityksessä kesäajan huonelämpötilojen tarkastelu tehdään D3 2012 mukaisilla standardikuormilla. Jotta tarkastelu olisi määräysten mukainen, malli simuloidaan 0,2 hlö/m² henkilötiheydellä, joka on huomattavasti tyyppitilojen suunniteltua käyttöä pienempi. Standardikäytöllä tehtyjä laskelmia ei käsitellä tässä raportissa erikseen, mutta niiden tulokset on esitetty raportin liitteenä olevassa energiaselvityksessä.

6.3 Sisäilmaluokitus

6.3.1 Valittu luokka ja tavoitteet

Kohteen sisäilmaston tavoitearvoiksi on määritetty lämpöolosuhteiden osalta sisäilmanluokan S3-tavoitearvot. Luokkien mukaiset lämpöolosuhteiden tavoitearvot on esitetty kuvassa 6.18. D3 2012:ssa tarkasteltiin huonelämpötiloja. Sisäilmaluokituksessa lämpötilojen tavoitearvot ja rajat on ilmoitettu operatiivisena lämpötilana.



Kuva 1.3.1 Operatiivisen lämpötilan tavoitearvot. Tummennettu alue kuvaa kyseisen luokan tavoitearvoaluetta (tavoitelämpötila + sallittu poikkeama).

Kuva 6.18 Sisäilmaluokitus 2008:n lämpöolosuhteiden tavoitearvot (11 s. 6)

Sisäilmaston ilmanlaadun osalta kohteen tavoitearvoksi on asetettu luokan S2-tavoitearvot. Luokkien mukaiset ilman laadun tavoitearvot on esitetty kuvassa 6.19. Tässä raportissa keskitytään hiilidioksidin pitoisuuteen.

Taulukko 1.3.3. Ilman laadun tavoitearvot.

	S1	S2	S3
Hiilidioksidipitoisuus [ppm]	<750	<900	<1 200
Radonpitoisuus [Bq/m ³]	<100	<100	<200
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttöajasta]			
• toimi- ja opetustilat	95 %	90 %	
• asunnot	90 %	80 %	

Kuva 6.19 Sisäilmaluokitus 2008:n ilman laadun tavoitearvot (11 s. 6)

Tavoitearvojen toteutuminen todetaan tarvittaessa mittauksin kohteen ollessa valmis. Suunnitteluratkaisujen toimivuutta voidaan kuitenkin arvioida laskennallisesti.

6.3.2 Laskelmat

Tavoitearvojen toteutumista tutkittaessa malli simuloitiin aikavälillä 1.1.2012 – 31.12.2012. Tämän jälkeen IDA:sta tulostettiin tunnin intervallilla operatiivisen lämpötilan ja CO₂-pitoisuuden tulokset valituista tyyppitiloista taulukkomuotoon. Taulukkolaskentaohjelmalla valmisteltiin ehtolauseet, jotka ilmaisevat tavoitearvojen ylitykset, alitukset ja liialliset poikkeamat.

6.3.3 Tulokset

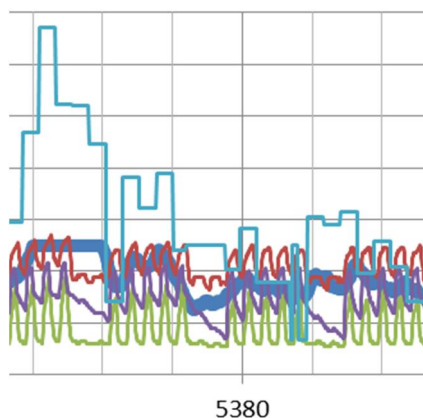
Tulosten tarkastelussa on oleellista selvittää miten suunnittelut ratkaisut toimivat ja miten tavoitearvot toteutuvat. Aika, jona tavoitearvot toteutuvat suhteessa koko vuoden tarkastelujaksoon on esitetty taulukossa 6.3. Taulukon mukaan ryhmä 2.1 operatiivisen lämpötilan enimmäisarvo $t_{oper. max}$ on 95% ajasta alle sallitun enimmäisarvon, lämpötilan minimi $t_{oper. min}$ ei alitu kertaakaan, 1% ajasta laskettu operatiivinen lämpötila poikkeaa +1 °C ja 84% ajasta -1 °C tavoitteesta $t_{oper. S3}$ ja CO₂-pitoisuus on 27% ajasta alle sallitun enimmäisarvon. Taulukon mukaan suunniteltu ratkaisu ei täyttäisi sisäilmastolle asetettuja vaatimuksia. CO₂

-pitoisuus tilassa ryhmä 2.1 on vain 27% ajasta alle sallitun, kun luokan S2 vaatimuksiin kuuluu, että ilman laadun tavoitteet on pystyttävä saavuttamaan 90% ajasta.

Taulukko 6.3 Osuus ajasta, jona eri tavoitteet täyttyvät

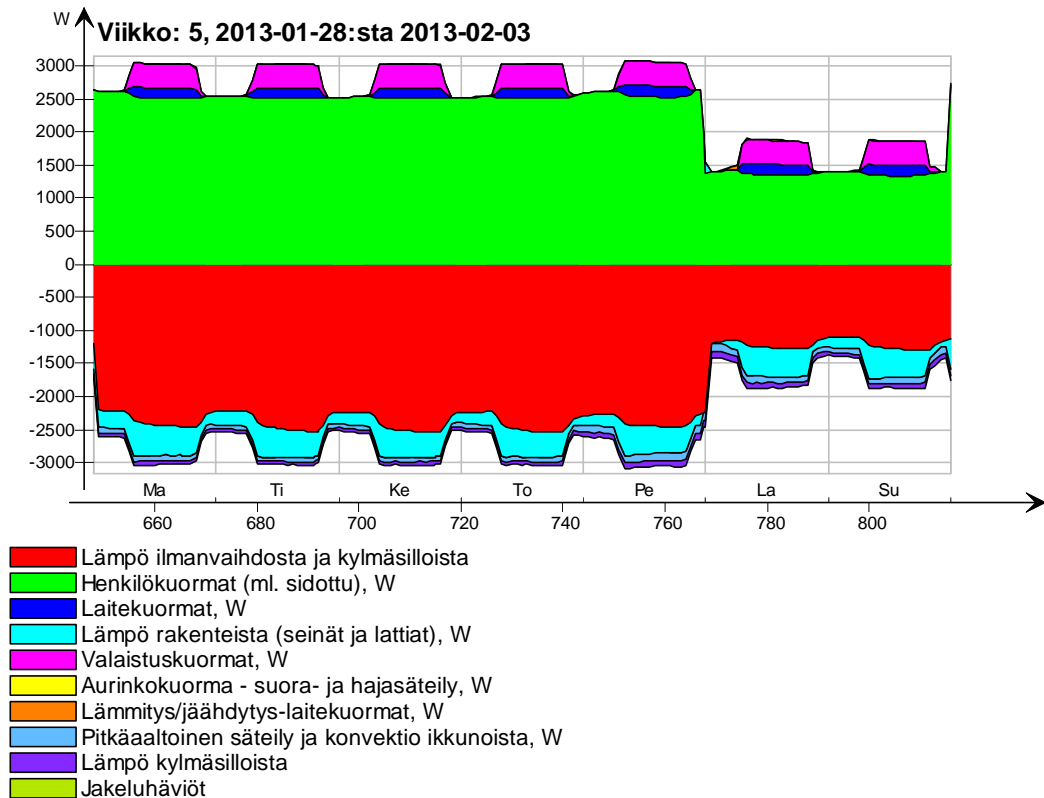
	[MAKSIMI] $t_{\text{oper. max}}$	[MINIMI] $t_{\text{oper. min}}$	[POIK +] $t_{\text{oper. S3}}$	[POIK -] $t_{\text{oper. S3}}$	[CO2] CO ₂
Ryhmä 2.1	95 %	100 %	1 %	84 %	27 %
Pienryhmä 1	99 %	100 %	20 %	5 %	100 %
Sali	98 %	100 %	11 %	32 %	100 %

Tuloksista on laadittu myös kuvaajat, joissa vuoden tarkastelujakson jaettu neljään osaan. Kuvaajat on esitetty kuvissa 7.1-7.8 liitteessä 1. Heinä Elo Syys –ajan kuvaajasta nähdään, että enimmäisarvon ylitykset johtuvat kohdista, joissa $t_{\text{oper. max}}$ arvoksi on laskettu noin 21 °C astetta. Näin käy tilanteissa, joissa vuorokauden t_{umax} ja tunnin t_u ovat noin 15°C. Kuvassa 6.20 on esimerkki tällaisesta kohdasta. Kuvaajissa nähdään, että näiden kohtien osalta enimmäisarvon ylityksiin ei ole tarvetta puuttua. Kysessä on epäjatkuvuus kohta sisäilmaluokituksen mukaisessa operatiivisen lämpötilan enimmäisarvon määrittelyssä. Äkillisten operatiivisen lämpötilan $t_{\text{oper. max}}$ notkahdusten aiheuttamiin ylityksiin ei ole tarvetta puuttua ja suunnitteluratkaisun voidaan pitää toimivana.

Kuva 6.20 Esimerkki epäjatkuvuuskohdasta $t_{\text{oper. max}}$ määrittelyssä

Kuvaajista nähdään miten S3-luokan mukaisen operatiivisen lämpötilan tavoitearvo $t_{\text{oper. S3}}$ vaihtelee ulkolämpötilan mukaan. Tilojen lämpötilat eivät kuitenkaan ole riippuvaisia ulkolämpötilasta. Kuten jo aiemmin todettiin, ulkopuolisten kuormien vaikutus tilojen lämpötilaan on vähäinen. Tilojen lämmityksen ja jäähdytyksen asetusarvot eivät ole riippuvaisia ulkoilman lämpötilasta. Näistä syistä johtuen tilojen lämpötila ei myöten ulkoilmalämpötilaa. Kun tarkastellaan ryhmä 2.1 lämpöasetta

tammikuulta kuvassa 6.21 nähdään, ettei ko. tilassa ole tuolloinkaan lämmityksen vaan jäähdytyksen tarvetta. Lämpötilan laskeminen edellyttäisi siis jäähdytystehon lisäämistä tai asetusarvojen muuttamista.



Kuva 6.21 Lämpötase tammikuussa, ryhmä 2.1

Kun tarkastellaan CO₂-pitoisuuksien kuvaajia 7.3-7.8 nähdään, että 900 ppm yläraja ylittyy hieman koko tarkastelujakson aikana. Taulukosta poimittu suurin CO₂-pitoisuus tilassa ryhmä 2.1 on 920 ppm. Näin pieneen ylitykseen ei mielestäni ole syytä puuttua ja ilmanvaihtoa voidaan pitää riittävänä. Muissa tiloissa raja alittui selvästi. Halutessa hiilidioksidipitoisuuden nousua voidaan ennakoida samaan tapaan kuin lämpökuormien poistossa muuttamalla CO₂ ylärajaa hieman pienemmäksi.

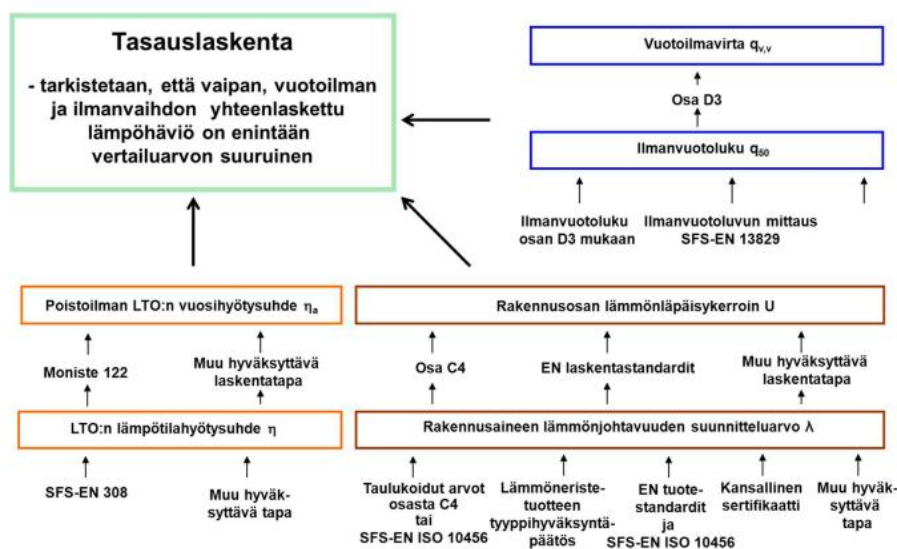
Yleisesti ottaen lämpöolojen parempi hallinta edellyttäisi suurempaa jäähdytystehoa ja asetusarvojen muuttamista. Suunnitellun käytön aiheuttama lämpökuorma on niin suuri että toteutuessaan rakennus pärjää suurimman osan lämmityskaudesta ilman tiloissa tapahtuvaa lämmitystä. Sallitun poikkeaman tavoitearvoa ei saavutettu, koska mallissa tilojen lämpötilaa ei ohjattu ulkolämpötilan mukaan. Todellisuudessa lämpötilan asetusarvo on kuitenkin käyttäjän valittavissa huonekohtaisen termostaatin avul-

la. CO₂-pitoisuuden osalta suunniteltua ratkaisua voidaan pitää toimivana ja S2-sisäilmaluokan tavoitteet täyttävänä.

6.4 Tasauslaskenta

6.4.1 Lähtötiedot

Tasauslaskennan lähtötietoina käytetään arkkitehdin ja rakennesuunnittelijan piirustusten mukaisia tietoja. Laajuustiedot, kuten kerrosala ja rakennustilavuus määritetään arkkitehdin ilmoittamilla arvoilla. Aukkojen lähtötietoina käytetään IDA:an syötettyjä tietoja. Rakenteiden ja aukkojen pinta-alat luetaan IDA:n laskemista yhteen-
vetotaulukoista. Tasauslaskennan kulku on esitetty kuvassa 6.22



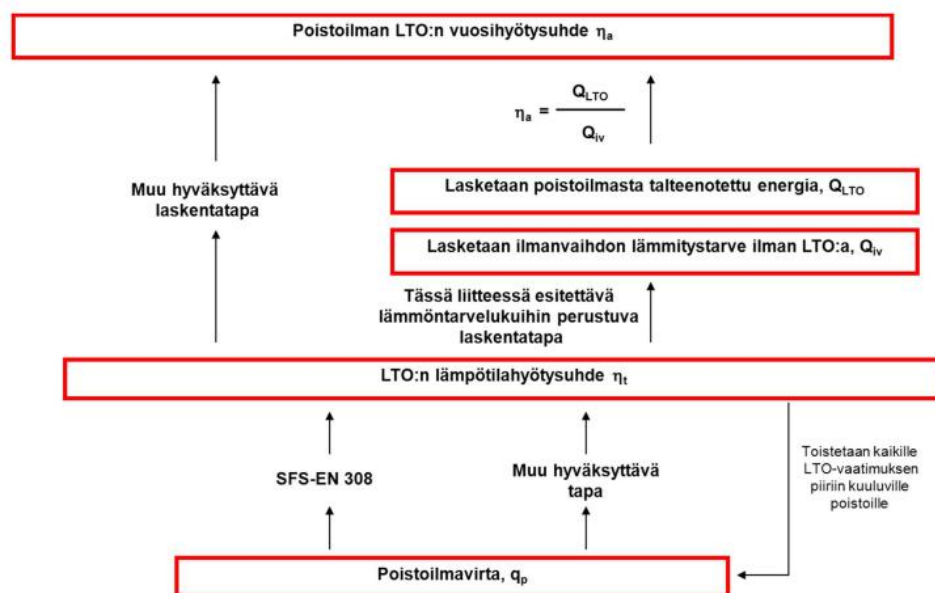
Kuva 3. Rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskennan lähtötietojen vaihtoehtoisia määrittämistapoja.

Kuva 6.22 Tasauslaskennan kulku (10)

Tasauslaskennassa ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö lasketaan standardikäyttöä vastaavilla ilmavirroilla ja aikatauluilla ja käyttämällä rakennuksen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta. Tasauslaskennassa vuosihyötysuhde tarkoittaa lämmöntalteenottolaitteistolla talteenotettavan ja hyödynnettävän lämpömäärän suhdetta rakennuksen ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaan lämpömäärään, kun talteenottoa ei ole. Vuosihyötysuhteen määrittämisessä käytetään suunniteltuja ilmavirtoja ja huomioidaan ilmanvaihdon tarpeenmukainen säätö, ja määrittämisestä on esi-

tettava selvitys. (10) Tasauslaskennassa ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö määritetään D3 2012 mukaisilla standardikäytön rakennustyyppikohtaisilla ilmavirroilla.

Vuosihyötysuhde voidaan laskea tasauslaskentaoppaassa 2012 esitetyllä menetelmällä. Opas mahdollistaa myös muun hyväksyttävän laskentatavan käyttämisen. Kuvasa 6.23 on esitetty kaavio poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen tasauslaskentaoppas 2012 mukaisesta määrittämisestä. Tasauslaskentaoppaan mukaan hyötysuhteen laskennassa huomioidaan ilmanvaihdon tarpeenmukaisuus ja järjestelmän käyttöaikataulu. Tässä projektissa rakennuksen ilmanvaihto on niin monimutkainen, että oppaan laskennan sijaan on tarkoituksenmukaisempaa hyödyntää simuloitua tietoa vuosihyötysuhteen määrittämisessä. Käytännössä tämä tarkoittaa, että IDA:n tuloksista luetaan talteenotettava ja ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema lämpöenergia, joiden avulla lasketaan vuosihyötysuhde η_a . Kun vuosihyötysuhde on laskettu, se voidaan syöttää tasauslaskimeen. Vuotoilmavirta syötetään ilmanvuotoluvun avulla ja lähtötietona käytetään samaa arvoa kuin aiemmin mallia määritettäessä.



Kuva 2. Kaavio rakennuksen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämiseksi määräystenmukaisuuden osoittamista ja siihen liittyvää tasauslaskelmaa varten.

Kuva 6.23 Kaavio lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisestä (10 s. 42)

Tasauslaskentaoppaan 2012 mukaan ilmanvaihtolaitoksen käyntiaikojen on vastattava mahdollisimman hyvin rakennuksen tulevaa käyttöä (10 s. 48). Koska ilmanvaihto on tarpeenmukainen, käyntiajat noudattavat käytännössä täysin rakennuksen käyttö-

aikataulua. Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskennassa ei kuitenkaan huomioida käytöstä aiheutuvia ilmaislämpöjä. Tästä syystä mallia muokataan siten, että ilmamääräsääteisissä tiloissa ilmamäärä säätyy CO₂ ja lämpötilan sijaan käyttöaika-
taulun mukaan ja että käytöstä aiheutuvia ilmaislämpöjä ei ole.

Tasauslaskentaoppaan mukaan ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemalla lämpömäärällä tarkoitetaan sitä lämpömäärää, joka tarvitaan ilmanvaihdon ilmavirran lämmitämiseksi ulkoilman lämpötilasta huonelämpötilaan. (10 s. 43) Tästä syystä suunniteltu tuloilman lämpötila 17°C muutettiin 21°C asteeseen ja puhaltimen lämmittäväksi vaikutukseksi asetettiin 0°C.

Tasauslaskentaoppaassa ei ole eritelty, mitä 'muu hyväksyttävä tapa' lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskennassa tarkalleen ottaen tarkoittaa. Laskenta on vaativuudeltaan samaa luokkaa muiden D3 2012 mukaisten energiankulutukseen liittyvien laskelmien kanssa, joten laskennassa voidaan perustellusti käyttää simuloimalla saatua D3 2012 vaatimukset täyttävää tietoa.

6.4.2 Laskelmat

Tasauslaskelma tehtiin ympäristöministeriön tasauslaskin 2012 –taulukkolaskentaohjelmalla. Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde η_a laskettiin kaavalla 1. Q_{LTO} ja Q_{iv} luettiin simulaation tuloksista ja tulos syötettiin tasauslaskentaohjelmaan. Poistoilmavirta laskettiin rakennustyyppin mukaisella standardikäytön ilmavirralla 3 l/s,m².

$$\eta_a = \frac{Q_{LTO}}{Q_{iv}}, \text{ jossa} \quad (1)$$

η_a = vuosihyötysuhde

Q_{LTO} = lämmöntalteenottolaitteistolla talteenotettava ja hyödynnettävä lämpömäärä

Q_{iv} = ilmanvaihdon tarvitsema lämpömäärä

6.4.3 Tulokset

Taulukossa 6.4 on esitetty simulaatiosta saadut Q_{LTO} ja Q_{iv} ja vuosihyötysuhteen η_a laskenta kaavan 1 mukaan. Poistoilmavirraksi laskettiin $3,44 \text{ m}^3/\text{s}$.

Taulukko 6.4 LTO:n vuosihyötysuhteen laskenta

Lämmitys IV-koneella		297023	kWh
Talteenotettu energia	+	273611	kWh
Q_{iv}		<hr/> 570634	kWh
Q_{LTO}		273611	kWh
η_a		0.48	-

Tasauslaskennan mukaan rakennuksen lämpöhäviöt ovat määräysten mukaiset. Vertailuarvoa suurempi vuotoilman häviö saadaan kompensoitua vertailuarvoa paremmalla talteenoton vuosihyötysuhteella ja paremmilla U-arvoilla. Tasauslaskenta on esitetty kokonaisuudessaan liitteenä olevassa energiaselvityksessä.

6.5 Kokonaisenergiankulutus

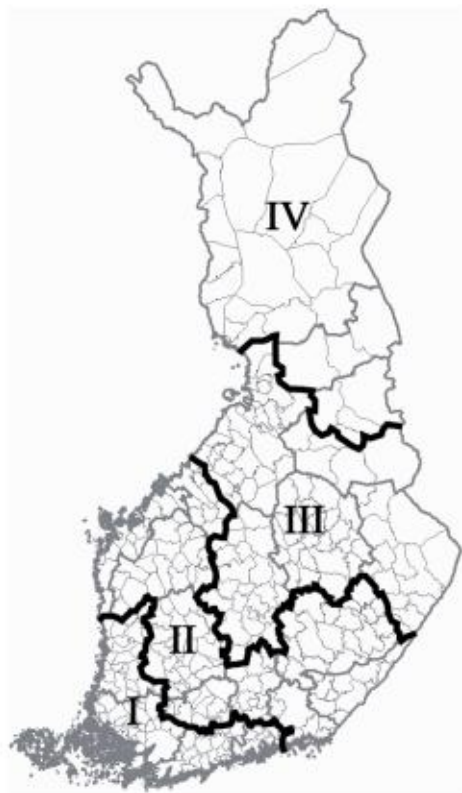
Rakennuksen kokonaisenergian kulutuksen määräysten mukaisuus osoitetaan energiaselvityksessä D3 2012 mukaisella E-luvun laskennalla. Kokonaisenergiankulutus saadaan, kun lasketaan yhteen rakennuksen laskennallisesti kuluttamien ostoenergioiden ja energiamuotojen kertoimien tulot energiamuodoittain. Energiamuotojen kertoimet on esitetty taulukossa 6.5. E-luvulle on määritetty rakennusluokittaiset enimmäisarvot, joita uudisrakennuksen E-luku ei saa ylittää. Päiväkoti kuuluu luokkaan 6, jolloin E-luvun enimmäisarvo on $170 \text{ kWh/m}^2, \text{ a}$.

Taulukko 6.5 Energiamuotokertoimet

Sähkö	1,7
Kaukolämpö	0,7
Kaukojäähdytys	0,4
Fossiiliset polttoaineet	1,0
Rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet	0,5

Ostoenergiankulutus lasketaan rakennustyyppin standardikäytöllä, jotta eri rakennusten E-luvut olisivat vertailukelpoisia. Standardikäyttö käsittää rakennuksen ja sen järjestelmien käyttö- ja käyntiajat sekä huonelämpötilan asetusarvot ja sisäisten lämpökuormien lähtöarvot.

Laskennassa on käytettävä määräysten mukaisia D3 2012 esitettyjä säätietoja. Suomi on jaettu neljään säävyöhykkeeseen. Vyöhykejako on esitetty kuvassa 6.24. Ostoenergian kulutuksen laskennassa käytetään aina vyöhykkeen 2 säätietoja.



Kuva 6.24 Säävyöhykkeet (7 s. liite 2)

Määräysten mukaan energiaselvitys on päivitettävä ja pääsuunnittelijan on varmentettava se ennen rakennuksen käyttöönottoa. (26 s. 26) Rakennuslupavaiheessa on tärkeää, että suunnitellut ratkaisut täyttävät määräysten mukaiset vaatimukset riittävän varmasti, ettei selvitystä varmennettaessa olla tilanteessa jossa tavoitteet eivät toteudukaan.

6.5.1 Lähtötiedot

Kokonaisenergiankulutuksen laskenta suoritetaan pääasiassa simuloimalla. Laskentaa varten mallia on muokattava siten, että tulokset vastaavat standardikäytön mukaista kulutusta. Projektin edetessä jotkin energiankulutuksen kannalta oleelliset lähtötiedot ovat myös tarkentuneet.

IDA:ssa energiankulutus jaetaan osiin energiamittareilla. Jotta esimerkiksi lämmityksen ja jäähdytyksen energiankulutus saadaan lopputuloksissa eriteltyä, ne määritetään eri energiamittareille. Energiamittareiden asetuksissa määritetään energiamuotokerroin, jolla simuloitu ostoenergian kulutus kerrotaan kokonaisenergiakulutuksen saa-

miseksi. Tässä projektissa kaikissa mittareissa käytetään sähkön energiamuotokertoimista 1,7. Energiamuotokertoimet määritetään IDA:aan suoraan, jolloin painotettu ostoenergiankulutus näkyy raporteissa kokonaisenergiankulutuksena

Lämmityksen tuoton häviöt huomioidaan tuotantotavan hyötysuhteessa. Lämmöntuotannon hyötysuhde valitaan D5 2012 esitettyjen SPF-luvun ohjearvoista. SPF-luku on lämpöpumpun vuoden keskimääräinen lämpökerroin. Vuotuisen keruupiirin paluunesteen keskilämpötilaksi oletettiin 3°C ja menoveden korkeimmaksi lämpötilaksi 50 °C. Näiden tietojen perusteella IDA:an määritettäväksi lämmön tuotannon hyötysuhteeksi valitaan 2,7. Maalämpöpumpun SPF-luvun ohjearvot on esitetty kuvassa 6.25.

Taulukko 6.13. Maalämpöpumppujen SPF-lukuja

Maalämpöpumppu menoveden korkein lämpötila, °C	SPF-luku	
	Vuotuinen keruupiirin paluunesteen keskilämpötila, °C	
	-3	+3
<i>Tilojen lämmitys</i>		
30	3,4	3,5
40	3,0	3,1
50	2,7	2,7
60	2,5	2,5
<i>Käyttöveden lämmitys</i>		
60	2,3	2,3

Kuva 6.25 SPF-luvun ohjearvot D5 2012:ssa (26 s. 53)

Lattialämmityksen jakelun ja luovutuksen D5 2012 mukainen hyötysuhde huomioidaan mallissa IDA:n vyöhykekohtaisessa luovutuksen hyötysuhteessa. Ideaalisten lämmityslaitteiden luovutuksen hyötysuhteeksi asetettiin 0,8 kaikissa tiloissa, joissa on lattialämmitys. Puolilämpimät tekninen tila ja varasto jätettiin arvoon 1. Eri lämmitysratkaisujen vuosihyötysuhteet on esitetty kuvassa 6.26.

Taulukko 6.2 Lämmitysjärjestelmien lämmönjaon ja -luovutuksen vuosihyötysuhteiden ja apulaitteiden ominaissähkökäytön ohjearvoja.

Lämmitysratkaisu	Vuosihyötysuhde η_{tilat} -	Sähkö e_{tilat} kWh/(m ² a)
Vesiradiaattori 45/35 °C		
jakojohtot eristetty	0,90	2
jakojohtot eristämätön	0,85	
Vesiradiaattori 70/40 °C		
jakojohtot eristetty	0,9	2
jakojohtot eristämätön	0,8	
Vesiradiaattori 70/40 °C jakotukilla		
	0,80	2
Vesiradiaattori 45/35 °C jakotukilla		
	0,85	2
Vesikiertoinen lattialämmitys 40/30 °C		
maata vasten rajoittuvassa rak.	0,8	2,5
ryömintätilaan rajoittuvassa rak.	0,8	
ulkoilmaan rajoittuvassa rak.	0,75	
lämpimään tilaan rajoittuvassa rak.	0,85	
Kattolämmitys (sähköinen)		
ulkoilmaan rajoittuvassa rak.	0,85	0,5
lämpimään tilaan rajoittuvassa rak.	0,9	0,5
Ikkunalämmitys (sähköinen)		
	0,80	0,5
Ilmanvaihtolämmitys¹⁾		
huonekohtainen säätö	0,90	0,5
Sähköpatterilämmitys		
	0,95	0,5
Sähköinen lattialämmitys		
maata vasten rajoittuva rak.	0,85	0,5
ryömintätilaan tai ulkoilmaan rajoittuvassa rak.	0,8	0,5
lämpimään tilaan rajoittuvassa rak.	0,85	0,5
Muut lämmityslaitteet		
Ulkotilaa tai maata vasten rajoittuva lämmitys	0,8	0,5
Sisätilaan rajoittuva lämmityslaitte	0,8	0,5

¹⁾ Ilmanvaihtolämmityksen hyötysuhde pätee järjestelmälle, jossa tuloilma lämmitetään huonekohtaisilla päätelaitteilla. Muuttuvavirtaisten järjestelmien hyötysuhteet on laskettava tarkemmalla menetelmällä.

Kuva 6.26 Eri lämmitysratkaisujen vuosihyötysuhteet ja apulaitteiden sähkökäyttö D5 2012:ssa (26 s. 43)

Lämmönjakoputkista aiheutuvat lämpöhäviöt määritetään D5 2012 mukaisien ominaislämpöhäviöiden perusteella. Putket ovat maassa, jolloin ominaislämpöhäviönä käytetään 85 kWh/m²,a. Jatkoputkien pituudeksi oletetaan 50 m, jolloin häviöksi saadaan 4250 kWh/m²,a. IDA:aan häviö syötetään osana tuoton häviön nimellistehoa, joten häviö on jaettava vuoden tuntien lukumäärällä, 8760 h. Ominaislämpöhäviöt on esitetty kuvassa 6.27 ja tehon laskenta taulukossa 6.6.

Taulukko 6.1 Lämmittämättömässä tilassa olevien lämmönjakoputkien ominaislämpöhäviön ohjearvoja.

Rakennustyyppi	Jakoputkien sijoitus	Vuotuinen ominaislämpöhäviö ¹⁾
		$Q_{\text{jakeluhäviöt, tilos}}$ kWh/(m a)
Pientalo ²⁾	Jakoputket maassa	
	-eristetty	60
	Jakoputket puolilämpimässä tilassa ⁴⁾	
	-eristämätön	150
	-eristetty	25
	Jakoputket ulkoilmassa	
	-eristetty	35
Muu rakennus ³⁾	Jakoputket maassa	
	-eristetty	85
	Jakoputket puolilämpimässä tilassa ⁴⁾	
	-eristämätön	250
	-eristetty	30
	Jakoputket ulkoilmassa	
	-eristetty	50

¹⁾ Määritetty lämmönjakoverkoston mitoituslämpötiloilla 70/40 °C.

²⁾ Määritetty putkikoolla DN20.

³⁾ Määritetty putkikoolla DN40.

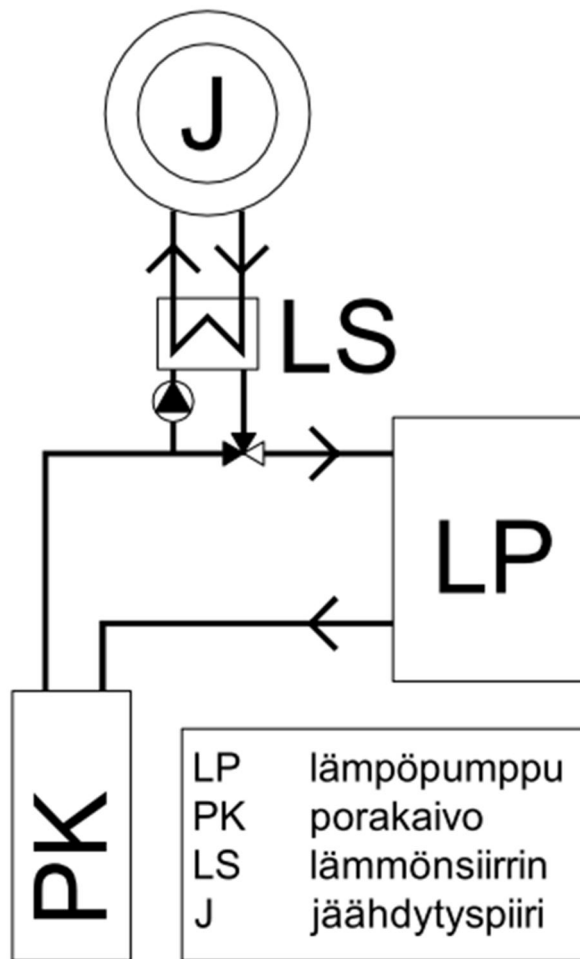
⁴⁾ Puolilämpimän tilan lämpötila 15 °C.

Kuva 6.27 Lämmönjakoputkien ominaislämpöhäviöiden ohjearvoja D5 2012:ssa (26 s. 42)

Taulukko 6.6 Jakoputkien häviöt D5 2012 mukaan

Jakelun vuotuinen ominaislämpöhäviö	85	kWh/m,a
Putkien pituus	20	m
Jakelun vuotuinen ominaislämpöhäviö	4250	kWh/a
Aika	8760	h/a
Nimellisteho	485	W

Tuloilman jäädytys on suunniteltu on toteutettavaksi siten, että maalämmön keruupiiriin lisätään vaihdin, joka jäädyttää ilmanvaihtokoneiden jäädytyspattereissa kiertävää vesi-glykoliseosta. Käytännössä jäädytyksessä kuluttaa energiaa vain toisiopiirin kiertovesipumppu ja järjestelmän säätö. KytKentää on havainnollistettu kuvassa 6.28.



Kuva 6.28 Jäähdytyksen kytkentä maalämmön keruupiiriin

D5 2012 mukaan jäähdytyksen vuotuinen energiantarve ratkaistaan kuvassa 6.29 esitetyllä kaavalla. Jäähdytysjärjestelmän vuotuinen energiantarve Q_{jk} ratkaistaan simuloimalla ja tuottoprosessin vuotuinen kylmäkerroin määritetään IDA ICE:n lähtötietoihin jäähdytyksen tuoton hyötysuhteeksi. Kylmäkertoimena käytetään arvoa 30, joka on D5 2012 mukainen vapaajäähdytyksessä käytettävän maaputkiston kylmäkerroin (26 s. 60).

$$Q_{\text{jäähdytys}} = \frac{Q_{jk}}{\epsilon_Q} \quad (8.3)$$

jossa

$Q_{\text{jäähdytys}}$	lämpö- tai kylmäenergiaa käyttävän järjestelmän vuotuinen energiantarve, kWh
Q_{jk}	jäähdytysjärjestelmällä tuotettu vuotuinen jäähdytysenergia, kWh
ϵ_Q	jäähdytysenergian tuottoprosessin vuotuinen kylmäkerroin, -

Kuva 6.29 (26 s. 59)

Kohteeseen tulee aurinkokeräimiä, joilla lämmitetään lämmintä käyttövettä. Auringolla tuotetun lämpöenergian on mahdollista simuloida IDA:lla, mutta tämä edellyttäisi primäärijärjestelmän muokkaamista. Auringolla tuotettu lämpömäärä lasketaan aurinko-opas 2012 mukaisella menetelmällä ja huomioidaan tuloksissa poistamalla auringolla tuotettu energiamäärä IDA:an syötettävästä lämpimän käyttöveden nettotarpeesta. Aurinkolämpöjärjestelmän tuoton laskenta on esitetty luvussa 0.

Lämpimän käyttöveden tuoton häviö huomioidaan tuotannon hyötysuhteessa samalla tavalla kuin lämmityksessäkin. Käyttöveden tuotannon hyötysuhteeksi valitaan 2,3. Käyttöveden siirron hyötysuhde valitaan kuvassa 6.30 esitetyistä taulukosta. Kohteessa on kierto, joten hyötysuhteeksi valitaan 0,89. Hyötysuhde huomioidaan IDA:ssa kertomalla tuoton hyötysuhde 2,3 siirron hyötysuhteella, jolloin tuoton hyötysuhteeksi saadaan 2,0.

Taulukko 6.3. Lämpimän käyttöveden siirron vuosihyötysuhde.

Rakennustyyppi	$\eta_{kv, siirto}$				
	Kierto	Ei kiertoa			
		eristämätön	suojaputkessa	eristetty, perustaso ¹⁾	eristetty, parempi ²⁾
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutilat	0,96	0,75	0,85	0,89	0,92
Asuinkerrostalo	0,97	0,76	0,86	0,90	0,94
Toimistorakennus	0,88	0,69	0,78	0,82	0,85
Liikerakennus	0,87	0,68	0,77	0,81	0,84
Majoitusliikerakennus	0,97	0,76	0,86	0,90	0,94
Opetusrakennus ja päiväkot	0,89	0,70	0,79	0,83	0,86
Liikuntahalli	0,98	0,77	0,87	0,91	0,95
Sairaala	0,94	0,74	0,84	0,88	0,91

¹⁾ eristyksen perustaso tarkoittaa vähintään eristyspaksuutta 0,5 D, missä D on putken halkaisija

²⁾ eristyksen parempi taso tarkoittaa vähintään eristyspaksuutta 1,5 D, missä D on putken halkaisija

Kuva 6.30 (26 s. 44)

Lämpimän käyttöveden kierron aiheuttama lämpöhäviö määritettiin aiemmin talotekniikan asetusarvoja ja lämpökuormia määritettäessä eikä häviöön ole tarvetta tehdä muutoksia energiankulutusta laskettaessa. D5 2012 käyttöveden varastoinnista aiheutuva lämpöhäviö voidaan määrittää varaajan tilavuuteen perustuvien ohjearvojen avulla. Ohjearvot on esitetty kuvassa 6.31. Kohteeseen on kuitenkin suunniteltu maahan asennettava lämpöpumppu, jossa on n. 5000 l varaaja käyttö- ja lämmitysvedelle. Varaajan asennuksen periaatekuva on esitetty kuvassa 6.32. Varaaja on selvästi D5 2012 ohjearvotaulukon varaajia suurempi ja sijoitettu maahan, jolloin myös lämpötilaero varaajan ja ympäristön välillä tavallista suurempi kuin sisätiloihin sijoite-

Taulukko 6.7 Varaajan lämpöhäviö

halkaisija	d	1.70	m
piiri		5.34	m
pohjan ala	A	2.27	m ²
korkeus	h	2.70	m
tilavuus	V	6.13	m ³
 sylinterin ala	 A	 18.96	 m ²
 eristeen lämmönvastus		0.03	W/m,K
eristeen vahvuus	d	0.10	m
kerroksen vastus		3.33	m ² ,K/W
kerroksen johtavuus		0.30	W/m ² ,K
 vaipan lämmönjohtavuus		5.69	W/K
 Ulkolämpötila		5.00	°C
Sisälämpötila		60.00	°C
Lämpötilaero		55.00	°C
Vaipan häviö		312.83	W
		0.31	kW
 Aika		8760.00	h/a
		2740.41	kWh

Lämmityksen apulaitteiden sähkönkulutus lasketaan D5 2012 mukaisten apulaitteiden ominaissähkönkäytön ohjearvojen avulla. Arvona käytettiin 2,5 kWh/m²,a. Ohjearvot on esitetty kuvassa 6.27. Lämmityksen apulaitteiden kulutus syötetään IDA:aan laitteiden nimellistehona, jonka laskenta on esitetty taulukossa 6.8.

Taulukko 6.8 Lämmityksen apulaitteiden sähkönkulutus

Ominaissähkönkäyttö	e _{tilat}	2.5	kWh/m ² ,a
Aika		8760	h/a
Nimellisteho		0.29	W/m ²

Jäähdytyksen apulaitteiden sähkönkulutus ratkaistaan vuotuisen jäähdytysenergian tarpeen perusteella käyttämällä D5 2012 mukaisia apulaitteiden sähkölukituksen kulutuskertoimia. D5 2012 mukainen kaava on esitetty kuvassa 6.33. Apulaitteiden ku-

lutuskertoimeksi β_{apu} valitaan 0,05, joka on D5 2012 mukainen ilmamääräsääteisen ilmajärjestelmän kulutuskerroin (26 s. 61).

$$W_{jäähd,apu} = \beta_{apu} Q_{jk} \quad (8.5)$$

$W_{jäähd,apu}$	jäähdytysjärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh
β_{apu}	järjestelmän vuotuinen apulaitteiden sähkönkulutuksen kulutuskerroin, -
Q_{jk}	jäähdytysjärjestelmällä tuotettu vuotuinen jäähdytysenergia, kWh

Kuva 6.33 Jäähdytyksen apulaitteiden sähkönkulutuksen laskenta D5 2012:ssa (26 s. 61)

IDA:ssa järjestelmäkohtaiset apulaitteiden sähkönkulutukset määritetään nimellistehon ja käyttöaikataulun avulla. Tästä syystä kuvassa Kuva 6.33 esitetyn kaavan mukaan lasketun apulaitteiden sähkönkulutuksen perusteella laskettiin vuoden keskimääräinen apulaitteiden nimellisteho 1 m² lattiaa kohden. Nimellistehon laskenta on esitetty taulukossa 6.9.

Taulukko 6.9 Jäähdytyksen apulaitteiden sähkönkulutuksen laskenta

	β_{apu}	0.05	-
	Q_{jk}	5890	kWh/a
	$W_{jäähd.apu}$	294.5	kWh/a
Kerrosala	A	1118	m ²
Tunteja vuodessa		8760	h/a
Apulaitteiden nimellisteho		0.030	W/m ²

Lämpimän käyttöveden kierron sähköenergian kulutus lasketaan D5 2012 osoittamalla tavalla. Kulutuksen laskenta on esitetty kuvassa Kuva 6.34. Pumpun ottotehona käytetään D5 2012 ohjearvoa 200 W/dm³/s. Ottotehon laskenta on esitetty taulukossa 6.10. Taulukossa on yhteenveto IDA:aan syötetyistä tuoton lisähäviöistä ja apulaitteiden sähkönkulutuksesta.

$$W_{lkv,pumppu} = P_{lkv,pumppu} t_{lkv,pumppu} \frac{365}{1000} \quad (6.6)$$

jossa

$W_{lkv,pumppu}$ lämpimän käyttöveden kiertopumpun sähköenergian kulutus, kWh/a
 $P_{lkv,pumppu}$ lämpimän käyttöveden kiertojohdon pumpun sähkömoottorin ottoteho, W
 $t_{lkv,pumppu}$ lämpimän käyttöveden kiertojohdon pumpun käyttöaika, h/vrk.

Kuva 6.34 Kiertovesipumpun energiankulutuksen laskenta (26 s. 46)

Taulukko 6.10 Käyttöveden kiertopumpun ottoteho

Ottotehon ohjearvo	200 W/dm ³ /s
Mitoitusvirtaama	0.15 dm ³ /s
Ottoteho	30 W

Aurinkolämpöjärjestelmän pumpun sähkönkulutus arvioidaan aurinko-oppaan 2012 mukaisella menetelmällä, koska yksityiskohtaista tietoa pumpun suunnitteluarvoista ei ole. Pumpun käyttöaikana käytetään 2000 h/a. Energiankulutuksesta lasketaan ominaissähköteho, joka syötetään IDA:aan lisälaittehäviöihin. Laskentakaava on esitetty kuvassa Kuva 6.35 ja laskenta taulukossa 6.11.

$$P = (50 + 5 \cdot A_{\text{aurinkokeräin}}) / 1000 \quad (9)$$

missä
 $A_{\text{aurinkokeräin}}$ on kiertooppiiriin kytkettyjen keräimien pinta-ala, m²

Kuva 6.35 Aurinkolämpöjärjestelmän pumpun tehon suunnitteluarvon laskenta, kun tehoa ei tunneta (18 s. 14)

Taulukko 6.11 Aurinkolämpöjärjestelmän pumpun sähkönkulutus Aurinko-opas 2012 mukaan laskettuna

Keräinten ala	$A_{\text{aurinkokeräin}}$	30	m ²
Pumpun teho		0.2	kW
Käyntiaika		2000	h
Energia		400	kWh
Tunteja vuodessa		8760	h/a
Ominaissähköteho		0.05	kW

Taulukko 6.12 Lisäheviöiden ja sähkönkulutuksen yhteenveto

Varaaja	313 W
Lämmönjakoputket	485 W
Lämmityksen tuotto yht.	798 W
Lämmityksen apulaitteet	0.29 W/m ²
Jäähdytyksen apulaitteet	0.03 W/m ²
Käyttöveden apulaitteet	30 W
Aurinkolämp. Pumppu	0.05 kW

Ilmanvaihdon sähkönkulutus simuloidaan suunnitelluilla toiminta-arvoilla. IDA:aan syötetään kunkin puhaltimen ominaissähköteho (SFP) ja paineen korotus. Määritetyt toiminta-arvot on esitetty taulukossa 6.13. Keittiön koneessa, TK03, käytettiin poistopuolella samoja arvoja kuin tulopuolella, koska tarkempia lähtötietoja ei ollut saatavissa. Tasauslaskennan jälkeen ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhteista on saatu tarkemmat arvot, jotka päivitetään malliin ja on esitetty konekohtaisesti taulukossa 6.13.

Taulukko 6.13 Ilmanvaihtokoneiden toiminta-arvot

	TK01		TK02		TK03	
	tulo	poisto	tulo	poisto	tulo	poisto
SFP	1.1	0.78	0.9	0.65	0.89	=TULO
dp	730	556	587	459	588	=TULO
n	0.66	0.71	0.65	0.71	0.66	=TULO
η_{LTO}	58,8 %		56,7 %		52,0 %	

6.5.2 Aurinkolämpöjärjestelmän tuotto

Aurinkolämpöjärjestelmän tuotto lasketaan taulukkolaskentaohjelmalla, joka on laadittu aurinko-opas 2012 mukaan. Laskennassa käytetään Sundial SF3 –tasokeräimien teknisiä tietoja. Keräimien tekniset tiedot on esitetty taulukossa 6.14

Taulukko 6.14 Keräimien tekniset tiedot

Tekniset tiedot (Sundial SF3)

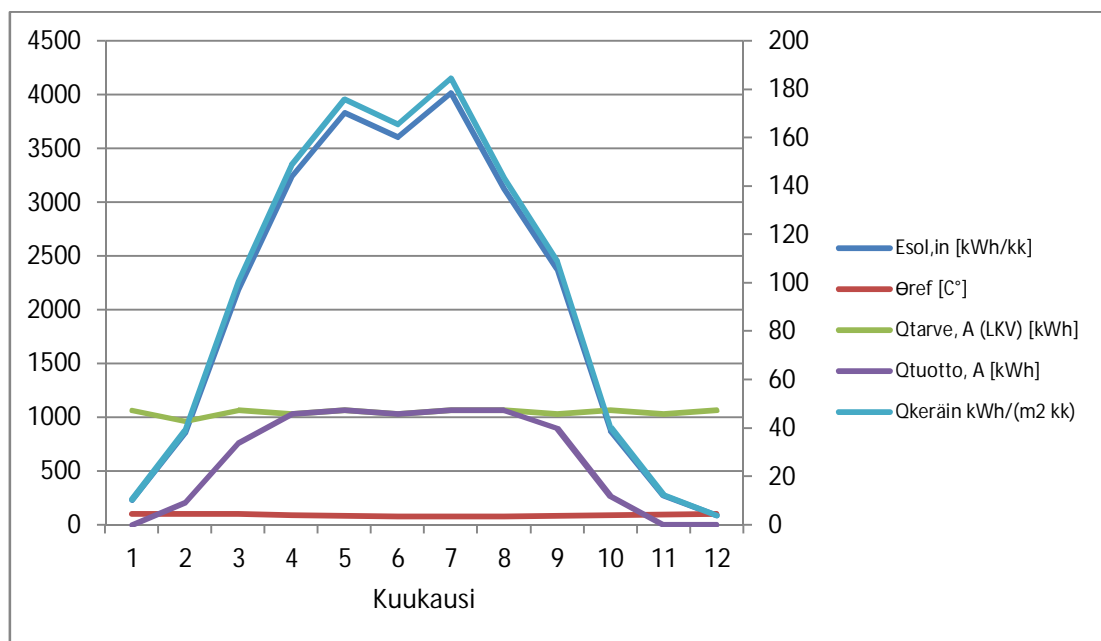
Rakenne	Tasokerääjä
Absorberin tyyppi	Täysalumiininen Double Harp-absorberi
Ulkomitat	2057x1059x98 mm
Kokonaispinta-ala	2057x1059 mm (2,18m ²)
Apertuuripinta-ala	2000x1001 mm
Absorptiopinta-ala	2000x1001 mm
Absorberin pinnoite	3-kerroksinen MEMO tyhjiöpinnoite
Lasin läpäisykyky ISO 9050/Paksuus	96.1% / 3.2mm (AR)
Absorptiokyky	96 % +/- 2
Emissio	5 % +/- 2%
Stagnaatiolämpötila	172°C
Lämmöneriste	50 mm mineraalivilla
Hyötysuhde	E0=0.92 a1=1.8 (W/°Cm ²) a2=0.036 (W/°Cm ²)
Lämmönsiirtoneste	Sundial HTL 40
Keräimen tilavuus	1.9 l
Paino tyhjänä	35 kg
Maksimi käyttöpaine	1000 kPa (10 bar)
Painehäviö	910 Pa @ 82 kg/h
Asennuskulma	0-90°
Lasikate	Lämpökäsitelty Sunarc®AR turvalasi
Putkiliitännät	DS: Ø 22 mm / DE Ø 18 mm

Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarve määritettiin D3 2012 mukaisen käyttöveden ominaiskulutuksen mukaan. Päiväkodin ominaiskulutusta vastaava lämmitysenergian tarve on 11 kWh/m², a, jolloin nettoalalla 1140 m² kerrottuna energiantarpeeksi saadaan 12540 kWh/a. Laskennassa vuosittainen energiantarve jaetaan tasaisesti kuukausien kesken. Lämmitysenergian tarve ja muut laskentaohjelmaan syötettävät lähtötiedot on esitetty taulukossa 6.15.

Taulukko 6.15 Aurinkolämpöjärjestelmän lähtötiedot

Rakennuksen sijainti	Helsinki	
Keräinpinta-ala	21.78 m ²	(10 keräintä)
Keräimien tyyppi	Tasokeräin	
Hyötysuhde η_0	0.92	
Hyötysuhdekäyrän lämpöhäviötermi a_1	1.8 W/m ² , K	
a_2	0.036 W/m ² , K	
Keräimien suuntaus	Etelä	
Keräimien kallistus	45 °	
Lämpimän käyttöveden tarve	12450 kWh	D3 2012 mukaan
Varaajan koko	1500	
Osuus, jossa lisälämmitys	1500	
Lisälämmityksen käyttö, kerroin	Yö, 0.7	
Lämpimän käyttöveden minimilämpötila	55 °C	
Kylmänveden minimilämpötila	5 °C	

Annetuilla lähtötiedoilla aurinkolämpöjärjestelmän tuotoksi saatiin laskentaohjelmassa 7388 kWh, mikä on 59% käyttöveden energian nettotarpeesta 12540 kWh. Tulokset on esitetty graafisessa muodossa kuvassa Kuva 6.36. Tuotto huomioidaan kokonaisenergiankulutuksen laskennassa vähentämällä keräimillä tuotettu energia IDA:an Lisäenergiat ja energiahäviöt -osiossa syötettävästä lämpimän käyttöveden nettoenergiatarpeesta, jolloin IDA:an syötettävä käyttöveden nettoenergiatarve on 5152 kWh/a.



Kuva 6.36 Aurinkolämpöjärjestelmän tuotto

6.5.3 Simuloinnit

Kokonaisenergiankulutuksen laskemiseksi ja E-luvun määrittämiseksi ei pitänyt tehdä kuin yksi simulaatio, mutta koska E-lukuvaatimus 170 kWh/m^2 , ei täytynyt, jouduttiin etsimään keinoja, joilla osto- ja kokonaisenergiankulutusta pystyttäisiin vähentämään E-luvun pienentämiseksi.

Simulointeja tehtiin yhteensä kolme. Case 1:ssä käytettiin lähtötiedoista poiketen D5 2012 mukaisia LTO:n hyötysuhteita, jotta voidaan verrata miten suuri merkitys LTO:n hyötysuhteen parantamisella on E-lukua laskettaessa. Case 2 simuloitiin suunnitelluilla lähtötiedoilla. Case 3:ssa mallin primäärijärjestelmää muokattiin siten, että lämpöpumpun COP:n tarkempi määrittäminen on mahdollista. Simuloidut tilanteet on esitetty taulukossa 6.16.

Taulukko 6.16 Simuloitavat tilanteet

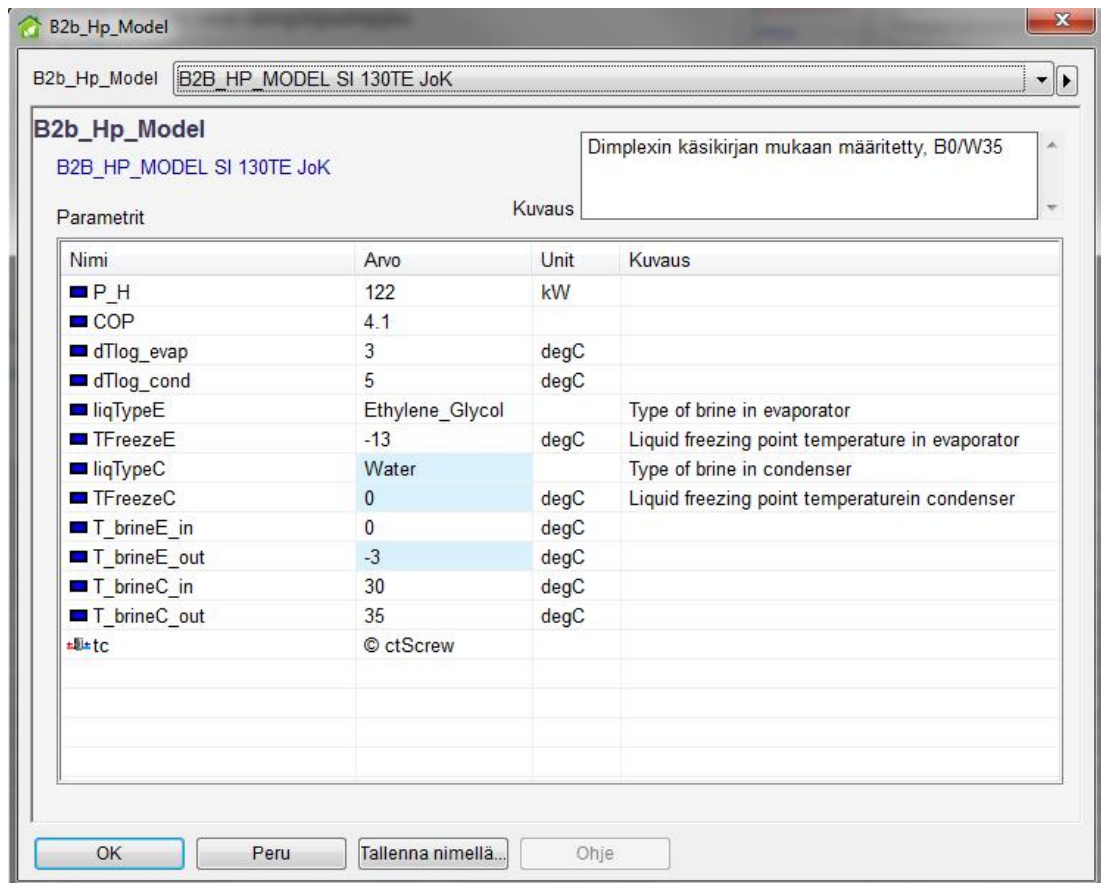
Case 1	D5 mukaiset LTO:n hyötysuhteet
Case 2	Suunnittelut LTO:n hyötysuhteet
Case 3	Lämpöpumpun tarkempi määrittäminen

Case 3:ssa lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmää muokattiin siten, että lämpöpumpulle annetaan COP-arvo jossain mittauspisteessä. Yhdessä toiminta-arvojen ja tietokantaan ennalta määritettyjen kompressorin toimintaa jäljittelevien korjauskertoimien avulla IDA ICE simuloi lämpöpumpun toimintaa lämpötilojen muuttuessa. Lämpöpumpun toiminta-arvoina käytettiin Dimplexin SI 130TE lämpöpumpun arvoja. Lämpöpumpun tekniset tiedot on esitetty kuvassa 6.37. Kuvassa on ympäröity punaisella arvot, joita käytetään lämpöpumpun määrittämisessä IDA ICE:ssä.

Lämmitykseen tarkoitettujen maalämpöpumppujen tekniset tiedot												
1	Tyyppi ja tilauskoodi			SI 50TE		SI 75TE		SI 100TE		SI 130TE		
2	Rakenne											
2.1	Kotelointi standardin EN 60 529 mukaan /asennuspaikka			IP 21 / sisällä		IP 21 / sisällä		IP 21 / sisällä		IP 21 / sisällä		
3	Suorituskykytiedot											
3.1	Käyttölämpötilarajat:											
	Menoveden lämpötila °C			Enintään 60		Enintään 60		Enintään 60		Enintään 60		
	Keruuliuos (lämmönlähde) °C			-5 ... +25		-5 ... +25		-5 ... +25		-5 ... +25		
	Pakkasneste			Monoetyleni-glykoli		Monoetyleni-glykoli		Monoetyleni-glykoli		Monoetyleni-glykoli		
	Pienin pakkasnestepitoisuus (-13 °C iäätymislämpötila)			25%		25%		25%		25%		
3.2	Lämmitysveden lämpötilaero B0 / W35:llä			K	8,9	5,0	9,9	5,0	9,7	5,0	9,4	5,0
3.3	Antoteho/ lämpökerroin	B-5 / W55:llä ¹	kW / ---	2	37,5 / 2,4		59,8 / 2,3		76,2 / 2,5		102,1 / 2,3	
			kW / ---	3	15,0 / 2,1		30,1 / 2,2		33,6 / 2,4		40,3 / 2,0	
		B0 / W45:llä ¹	kW / ---	2		41,8 / 3,2		67 / 3,1		84,4 / 3,2		112,3 / 3,1
			kW / ---	3		21 / 3,2		34,4 / 3,1		40,6 / 3,1		53,2 / 3,1
		B0 / W50:llä ¹	kW / ---	2	43,8 / 3,0		69,8 / 2,9		87,9 / 3,1		117,0 / 2,9	
			kW / ---	3	18,5 / 2,5		33,3 / 2,8		39,1 / 2,8		51,0 / 2,4	
		B0 / W35:llä ¹	kW / ---	2	46,7 / 4,5	45,5 / 4,3	75,2 / 4,4	72,7 / 4,2	96,3 / 4,6	93,8 / 4,4	125,8 / 4,3	122 / 4,1
			kW / ---	3	23,0 / 4,4	22,4 / 4,2	37,6 / 4,3	35,9 / 4,1	48,4 / 4,6	46,7 / 4,3	63,3 / 4,2	60,8 / 4,1
3.4	Äänitaso			dB(A)		65		69		71		
3.5	Äänipaineen taso 1 m etäisyydellä			dB(A)		50		54		55		

Kuva 6.37 Lämpöpumpun tekniset tiedot (28 s. 85)

Määritettäväksi toimintapisteeksi valittiin EN 14511 mukainen B0/W35 mitoitus-tilanne, jossa keruuliuksen lämpötila on 0°C ja lämmitettävän veden 35°C. Standardin mukaisessa mitoitusstilanteessa keruupiiriin lähtevän liuoksen lämpötila on -3°C. (29 s. 9) Teknisten tietojen mukaan näissä olosuhteissa meno- ja paluunesteen lämpötilaero on höyrystimen siirtimessä 3,0 K ja lauhduttimessa 5,0 K. Kompressoriksi valittiin yleinen ruuvikompressor. Kuvassa 6.38 on esitetty, miten tiedot on syötetty IDA ICE:een.



Kuva 6.38 Teknisten tietojen määrittäminen IDA ICE:ssä

Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän muokkaaminen edellytti, että vyöhykekohtaiset lämmityslaitteet on määritettävä ideaalisia lämmityslaitteita tarkemmin. Tämä johtuu siitä, että lämmityslaitteiden on oltava vesikiertoisia jotta ne liittyisivät IDA ICE:ssä lämmitysjärjestelmään. Kuvassa 6.39 on esitetty vyöhykekohtaisen lattialämmityksen määrittäminen IDA ICE:ssä.

Lattialämmitys ja -jäähdytys (lämpötilasäätö)			
	Jäähdytys	Lämmitys	
Mitoitusteho	0	25	W/m ²
dT(vesi) maksimiteholla	5.0	5.0	°C
Säädin	PI		
Anturi	Ilman lämpötila		

1) Lattialämmitys asetetaan annettuun syvyyteen lattiarakenteeseen, joka on määritelty koko lattialle.

2) Mitoitustehosta ja lämpötilaerosta lasketaan veden maksimimassavirta. Todellinen teho mitoitusilanteessa voi jäädä pienemmäksi, jos lattiarakenteen lämmönvastus on liian suuri.

Massavirta	
<input type="radio"/> Veden virtaamaa säädetään (ei erillistä kiertov	
<input checked="" type="radio"/> Vakiovirtaama, laskettu oheisella lämpötilaero	3 °C

Vakiovirtaaman tapauksessa kiertovesipumppu tuottaa vakiomassavirran sekä jäähdytyksessä että lämmityksessä. (Pumpun sähkönkulutusta ei lasketa).

Sijainti laatussa	
Syvyys pinnasta	0.02 m

Lattialämmitys asetetaan annettuun syvyyteen lattiarakenteeseen, joka on määritelty koko lattialle.

Lämmönsiirtokerroin	
Veden ja rakenteen välinen lämmönsiirtokerroin	30 W/(m ² ·K)

Normaalisti 6 alumiinirivoilla puurakenteessa ja 30 putkille betonissa. Kokonaislämmönsiirto on normaalisti suuresti riippuvainen lattialämmityksen alapuolisesta ja yläpuolisesta rakenteesta, jolloin tämä parametri ei ole kovin paljon merkitystä.

* EN 15377-1 standardin mukaan:
 $1/H\text{-vesi-putkiripa} = R_w + R_r + R_x = R_t - R_z$

Kuva 6.39 Lattialämmityksen määrittäminen

6.5.4 Tulokset

Simulointien tulokset on esitetty taulukossa 6.17. Case 1:ssä E-luvuksi saatiin 195 kWh/m², a, case 2:ssa 178 kWh/m² ja case 3:ssa 133 kWh/m².

Taulukko 6.17 Kokonaisenergiakulutukset






		Lapijoki 1		Lapijoki 2		Lapijoki 3	
		kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
	Valaistus, kiinteistö	44718	39.0	44729	39.0	44725	39.0
	LVI sähkö	31492	27.5	31433	27.4	0	0.0
	Maalämpöpumppu, lämmitys	115778	100.9	95911	83.6	25758	22.5
	Maalämpöpumppu, LKV	5770	5.0	5770	5.0	50057	43.6
	Maalämpöpumppu, jäähdytys	334	0.3	331	0.3	63	0.1
	Lisäenergia					375	0.3
	LVI Lämpö					6233	5.4
	LVI Jäähdytys					522	0.5
	Yhteensä, Kiinteistösähkö	198092	172.7	178174	155.3	127733	111.4
	Yhteensä	198092	172.7	178174	155.3	127733	111.4
	Laitteet, asukas	19875	17.3	19878	17.3	19878	17.3
	Yhteensä, Aukkaan sähkö	19875	17.3	19878	17.3	19878	17.3
	Yhteensä (E-luku)	217967	190.0	198052	172.7	147611	128.7

Tuloksista nähdään, että Lapijoen tapauksessa E-luvun määräysten mukaisuus saavutetaan vasta, kun parannetaan lämpöpumpun tehokkuutta. Ensimmäisen simuloinnin tulosten perusteella rakennuksen energiankulutuksessa on parannettavaa 25 kWh/m²,a käytettäessä lämmöntalteenoton D5 2012 mukaisia ohjearvoja. Kun lämmöntalteenoton hyötysuhde on suunnitelmien mukainen, tavoite 170 kWh/m²,a ylittyy enää 3 kWh/m²,a. Parantamalla lämpöpumpun tehokkuutta ja lisäämällä aurinkolämmitys tavoite täyttyy helposti E-luvun ollessa 129 kWh/m²,a. Case 3:ssa käyttöveden kulutusta ei ole eritelty vaan se sisältyy lämmitykseen.

Kun tarkastellaan muutosten vaikutusta varsinaiseen energiankulutukseen huomataan, että LTO:n tehostaminen on vähentänyt ilmanvaihdon energiankulutusta neljänneksen. Eri tilanteiden vuosittainen energiankulutus on esitetty taulukossa 6.18.

D3 2012 mukaisesti esitetyt laskennan lähtötiedot ja tulokset on esitetty liitteenä olevassa energiaselvityksessä.

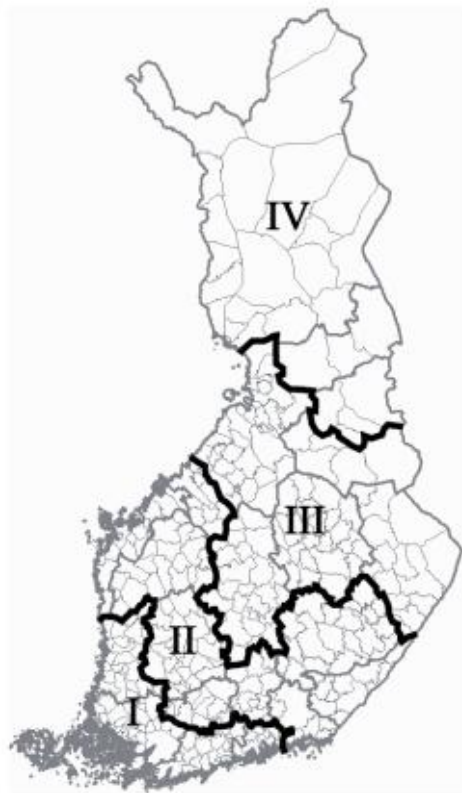
Taulukko 6.18 Järjestelmien energiankulutus

	Zone heating	Zone cooling	AHU heating	AHU cooling	Dom. hot water
					
Case 1	55681.3	0.0	40154.7	5867.7	14403.0
Case 2	55693.7	0.0	28555.0	5823.8	14403.0
Case 3	51712.9	0	27467.8	5758.3	14378

6.6 Mitoitustilanteiden tehot

6.6.1 Lähtötiedot

Lämmitysjärjestelmän mitoitus-teho simuloidaan mitoittavissa D3 2012 mukaisissa olosuhteissa. Lämmityskauden mitoittava ulkolämpötila valitaan rakennuspaikan maantieteellisen sijainnin mukaisella säävyöhykkeen mitoittavalla ulkolämpötilalla. Lapijoen päiväkotij sijaitsee vyöhykkeen I alueella, jolloin mitoittava ulkoilman lämpötila on -26°C . (7 s. 29) Vyöhykejako on esitetty kuvassa 6.40. Mitoittavassa tilanteessa kaikkien sisäisten ja ulkoisten kuormien osuus on 0% ja ilmamäärät ovat 100%. Lämpötila ja CO₂-ohjaus on poistettava käytöstä. Simuloinnin sääksi määritellään synteettinen sää, jolloin olosuhteet pysyvät samoina. Auringonsäteilyksi määritetään 0%.



Kuva L2.1. Säävyöhykkeet.

Kuva 6.40 Vyöhykejako D3 2012:ssa

Mitoittava jäähdytysteho saadaan aiemmasta luvun 6.2.3 simulaatiosta, jossa todettiin kesäajan huonelämpötilojen määräystenmukaisuus.

6.6.2 Simuloinnit

Lämmityksen mitoittavat tilanne simuloidaan annetuilla lähtötiedoilla. Jäähdytyskautta ei simuloida erikseen.

6.6.3 Tulokset

Lämmityksen ja jäähdytykset mitoittavat tehot on esitetty taulukossa 6.19. Jäähdytyksen mitoittava päivä oli 1.8.2013. Tulokset esitetään liitteenä olevassa energiaselvityksessä.

Taulukko 6.19 Järjestelmien mitoitusvahvuudet

Lämmitystehot		
Lattialämmitys	39	kW
IV-koneen lämmityspatteri	125	kW
Lämmitys yht.	164	kW
Jäähdytystehot		
IV-koneen jäähdytyspatterit	116	kW
Jäähdytys yht.	116	kW

6.7 Energiatodistus

Energiatodistukseen lasketaan rakennuksen energiatehokkuusluku, joka saadaan jakamalla rakennuksen vuotuinen energiamäärä rakennuksen bruttopinta-alalla. Energiatehokkuusluvun avulla määritetään rakennuksen rakennustyyppikohtainen energiatehokkuusluokka. Energiatehokkuusluokka-asteikko on esitetty kuvassa 6.41. Muiden kuin pienten asuinrakennusten energiatodistus on voimassa 4 vuotta.

Päiväkodit

Käyttötarkoitukseluokka: 22 Huoltolaitosrakennukset
23 Muut sosiaalitoimen rakennukset

Energiatohokkuusluokka	Energiatohokkuusluku (ET-luku, kWh/brm ² /vuosi)
A	$ET \leq 140$
B	$141 \leq ET \leq 180$
C	$181 \leq ET \leq 230$
D	$231 \leq ET \leq 300$
E	$301 \leq ET \leq 390$
F	$391 \leq ET \leq 500$
G	$ET \geq 501$

Kuva 6.41 Päiväkodin energiatohokkuusluokat (3 s. 17)

Rakennuksen energiankulutus on laskettava D5 2007 mukaisella tai muulla soveltuvalla menetelmällä. Laskennassa käytetään D5 2007 liitteen 1 säävyöhykkeen III, Jyväskylä-Luonetjärvi. mukaisia säätietoja ja energiatodistusasetuksen 765/2007 mukaisia lähtöarvoja. Rakennuksen energiankulutukseen ei sisälly eri energiamuotojen kiinteistökohtaisia eikä kiinteistön ulkopuolisia energiantuotannon häviöitä. (3 s. 31)

6.7.1 Lähtötiedot

Rakennuksen energiankulutuksen laskemiseksi mallia on muokattava siten, että lähtötiedot ovat energiatodistusasetuksen 765/2007 ja D5 2007 mukaiset. Laskentajainniksi määritetään Jyväskylä ja sääksi Jyväskylän 1979 säätiedot (IDA:n tietokanta).

Lämmitys- ja jäähdytysenergian tarpeen laskemiseksi on tuotannon hyötysuhteet asetettava arvoon 1, energiatarveluvun laskennassa ei huomioida rakennuksen ulko- tai sisäpuolisia tuoton häviöitä. Aiemmin lämpimän IDA:aan syötettävässä käyttöveden tuotannon hyötysuhteessa huomioitiin tuoton lisäksi myös siirron hyötysuhde 0,89. Siirron hyötysuhde huomioidaan myös energiatarveluvun laskennassa, joten lämpimän käyttöveden tuoton hyötysuhteeksi määritetään 0,89.

Energiantarveluvun käyttöveden kulutuksen laskennassa käytetään D5 2007 ohje-arvoja. Päiväkodin ominaiskulutukseksi on määritetty 460 dm³/brm², a. IDA:aan ei kuitenkaan ole mahdollista syöttää bruttoalaan perustuvia kulutusarvoja, joten käyt-

töveden kulutus kerrotaan lattia- ja bruttoalan suhteella. Käyttöveden kulutuksen laskenta on esitetty taulukossa 6.20.

Taulukko 6.20 Lämpimän käyttöveden kulutuksen laskenta D5 2007

Ominaiskulutus D5 2007	460 $\text{dm}^3/\text{brm}^2, \text{ a}$
Bruttoala	1266 brm^2
Ominaiskulutus	582360 dm^3/a
Nettoala	1167 m^2
Ominaiskulutus	499 $\text{dm}^3/\text{m}^2, \text{ a}$

Kiinteistösähkön kulutuksen laskentaan ei tehdä mallissa muutoksia, koska jo määritettyjä D3 2012 mukaisia standardikäytön mukaisia kulutusarvoja voidaan pitää vähintään yhtä soveltuvina kuin D5 2007 ohjearvoja. Samalla perusteella laitteiden ja käytön aiheuttamat lämpökuormat ja käyttöaste säilytetään ennallaan. Käyttöajat ovat molemmissa D5 2007:ssä ja D3 2012:ssa samat.

6.7.2 Simulaatio ja tulosten käsittely

Malli simuloidaan kerran syötetyillä lähtötiedoilla. ET-luku lasketaan syöttämällä simulaatiosta saadut rakennuksen kulutustiedot ympäristöministeriön valmistelevaan taulukkolaskentaohjelmaan. Talotekniikan energiankulutus luetaan IDA järjestelmien energia –raportista (Taulukko 6.21) ja sähkönkulutus ostoenergian kulutus -raportista (Taulukko 6.22). Käytetyt luvut on lihavoitu. Täytetty energiatodistuskavaake on esitetty liitteenä olevassa energiaselvityksessä. ET-luvuksi saatiin 165 kWh/br-m², a, jonka mukaan rakennuksen ET-luokka on B.

Taulukko 6.21 Järjestelmien energiankulutus

Kuukausi	Tilalämmitys	Tilajäähdytys	Lämmitys IV-koneella	Jäähdytys IV-koneella	Lämmin käyttövesi
1	11361.0	0.0	8923.0	0.0	3016.0
2	10492.0	0.0	9289.0	0.0	2724.0
3	8090.0	0.0	4719.3	0.0	3016.0
4	6248.0	0.0	3741.7	0.0	2919.0
5	3253.0	0.0	979.6	505.5	3016.0
6	1248.0	0.0	72.3	1542.0	2919.0
7	1412.0	0.0	20.8	1202.0	3016.0
8	1447.0	0.0	40.6	1510.0	3016.0
9	3653.0	0.0	766.7	6.8	2919.0
10	6025.0	0.0	3071.6	0.0	3016.0
11	7238.0	0.0	3778.7	0.0	2919.0
12	9799.0	0.0	6426.7	0.0	3016.0
Yhteensä	70266.0	0.0	41830.1	4766.3	35512.0

Taulukko 6.22 Ostoenergian kulutus

	Ostoenergiankulutus		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m ²	kW	kWh	kWh/m ²
Valaistus, kiinteistö	26309	22.9	12.61	44725	39
Jäähdytys	4766	4.2	38.7	8103	7.1
LVI sähkö	18476	16.1	5.41	31409	27.4
Maalämpöpumppu, lämmitys	112456	98	136.7	191175	166.7
Maalämpöpumppu, LKV	39900	34.8	4.55	67830	59.1
Yhteensä, Kiinteistösähkö	201907	176		343242	299.3
Yhteensä	201907	176		343242	299.3
Laitteet, asukas	11693	10.2	5.6	19878	17.3
Yhteensä, Aukkaan sähkö	11693	10.2		19878	17.3
Yhteensä	213600	186.2		363120	316.6

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tavoite oli tehdä määräysten mukaisen energiaselvityksen osana Lapijoen päiväkodin suunnitteluprojektia ja tukea muuta LVI-suunnittelua. Energiaselvityksen osalta tavoite saavutettiin hyvin ja aikataulussa. Muun suunnittelun tukeminen onnistui vain tyydyttävästi, koska simulaatioista saatavissa olevaa tietoa hyödynnettiin vain osittain. Todellista vuorovaikutusta mallin ja suunnittelun välillä ei saavutettu.

Mallin tarkkuudella havaittiin olevan suuri merkitys esimerkiksi energiankulutuksen laskennassa. Tuloksissa korostui, että ohjearvoihin sisältyvä epätarkkuus ja varmuuskertoimet voivat vääristää tuloksia niin paljon, ettei suunnitteluratkaisu täytä E-luvulla asetettua vaatimusta, kun mallin tarkemmalla määrittämisellä tavoite täyttyy helposti. Ohjearvot ovat suuntaa antavia ja tuovat laskelmiin varmuutta, mutta niiden perusteella saatujen tulosten perusteella voi olla vaikeaa tehdä johtopäätöksiä. Ensimmäisen energiankulutusta koskevan simulaation perusteella vaikutti siltä, että kohteessa joudutaan tekemään merkittäviä parannuksia energiatehokkuuteen vaatimusten täyttämiseksi, vaikka kyseessä oli vain tärkeimpien kulutukseen vaikuttavien muuttujien määrittämisen tarkkuus.

Lakiuudistuksen 'keskeneräisyyden' vuoksi työn alussa oli haastavaa selvittää, minä asetusten mukaan mikin energiaselvityksen osa-alue oikeastaan tehdään. Prosessi oli lopulta kuitenkin melko johdonmukainen. Tulevaisuudessa uuden energiatodistusasetuksen myötä prosessi helpottuu, kun ei jouduta soveltamaan sekä uusia että vanhoja asetuksia ja määräyksiä.

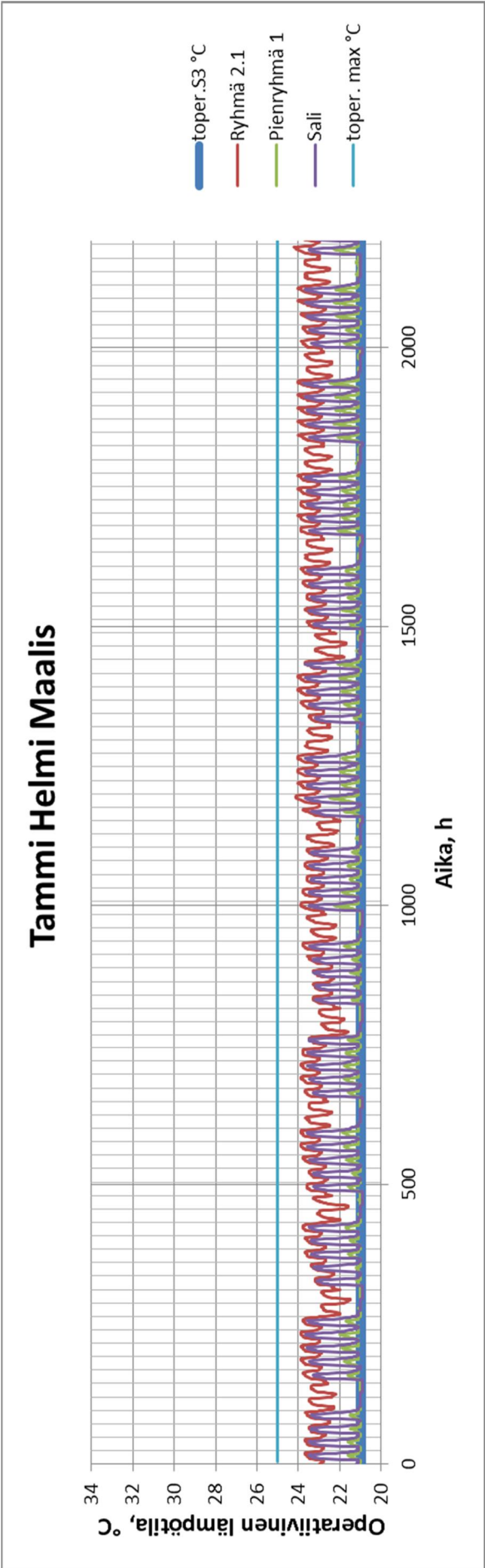
Työtä tehdessä onnistuttiin luomaan raamit rutiinille, jonka mukaan selvitys voidaan jatkossa tehdä. Kehittämisen kohteina voidaan pitää erilaisten projektipohjien luomista, jotka noudattavat tätä rutiinia, selkeyttävät prosessia ja säästävät samalla perusasetusten määrittämiseen kulunutta aikaa. Myös raporttien ja tulosteiden käsittely voitaisiin automatisoida siten, että tiedon manuaaliseen liikutteluun ohjelmien välillä ei ole tarvetta. Yleisesti suunnittelun ja mallinnuksen vuorovaikutusta on tehostettava, koska parhaimmillaan ne täydentävät toisiaan. Mallintaminen on jatkuvasti tapeilla rakennusteollisuutta käsittelevissä julkaisuissa. Tämä on mielestäni selvä signaa-

li kehityksen suunnasta ja siitä, että mallintaminen on tullut jäädäkseen ja että siihen kannattaa panostaa.

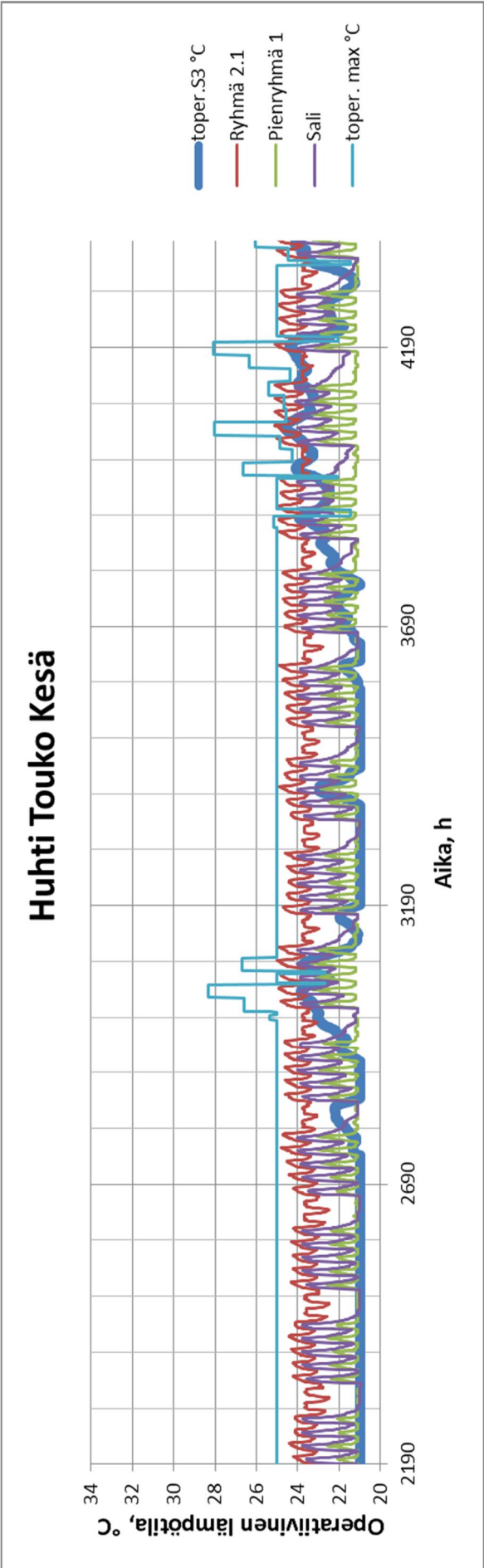
LÄHTEET

1. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus ja muutostöissä PM. s.l. : Ympäristöministeriö.
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=142234&lan=fi>.
2. *Direktiivi 2010/31/EU rakennusten energiatehokkuudesta*. s.l. : Euroopan unionin virallinen lehti, 2010. L153/13.
3. 765/2007. *Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta*. 2007.
4. 176/2013. *Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta*. 2013.
5. Suomen RakMk C4. 2003. *Lämmöneristys. Ohjeet 2003*. Helsinki : Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto.
6. Suomen RakMk C4. 2012. *Lämmöneristys. Ohjeet 2012. LUONNOS 27.10.2011*. s.l. : Ympäristöministeriö.
7. Suomen RakMk D3. 2012. *Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012*. Helsinki : Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.
8. Ympäristöministeriön asetus rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdesta MUISTIO. s.l. : Ympäristöministeriö.
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=126229&lan=sv>.
9. *Maankäyttö- ja rakennuslaki muutoksineen*. 1999. 132/1999.
10. **Saari, Mikko;ym.;ym.** Tasauskalkentaopas 2012. s.l. : Ympäristöministeriö, 2011.
11. LVI 05-10440. *Sisäilmaluokitus 2008*. s.l. : Rakennustieto Oy, 2008.
12. **Liljeström, Kimmo ja Hurme, Minna**. *D3 laskentaopas 2012*. s.l. : Ympäristöministeriö, 2012.
13. **Seppänen, Olli**. Ilmastoinnin suunnittelu. Forssa : Suomen LVI-liitto, 2004.
14. Aurinkosuojaus. *Aurinkosuojaus ry:n sivusto*. [Online] [Viitattu: 24. 4 2013.]
<http://www.aurinkosuojaus.fi/aurinkosuojaus.html>.
15. LVI 30-10416. *Kesäaikaisten lämpötilojen hallinta asuinkerrostaloissa*. s.l. : Rakennustieto Oy, 2007.
16. LVI 73-40016. *Auringon säteilykuorman pienentämismahdollisuudet rakennuksissa*. s.l. : Rakennuskirja Oy , 1991.
17. **Beck, Wouter;ym.;ym.** *Aurinkosuojaus*. 2011 : REHVA.
18. **Heimonen, Ismo**. *Aurinko-opas 2012*. s.l. : Ympäristöministeriö, 2012.

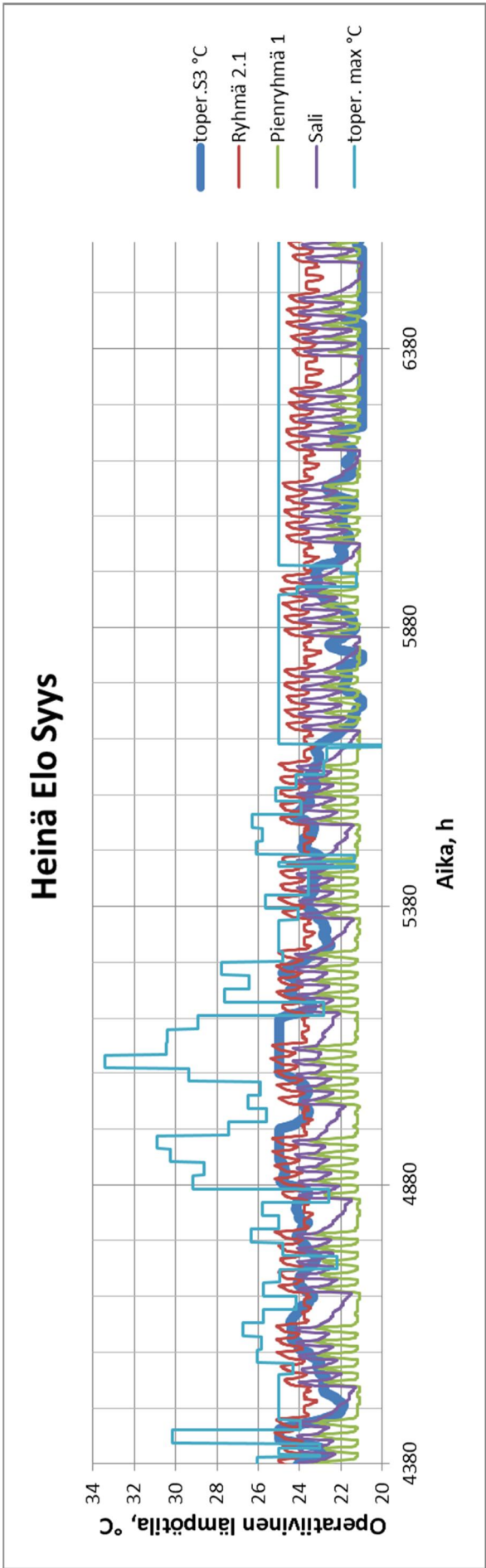
19. *IDA-ICE 4.5 Manual.pdf*.
20. IDA Modeler HTML Help.
21. **Vuolle, Mika.** Diasarja IDA ICE:n ominaisuuksista.
22. Equa Simulations Oy:n kotisivut. [Online] [Viitattu: 24. 4 2013.] <http://www.equa-solutions.co.uk/>.
23. *Validation of IDA Indoor Climate and Energy 4.0 build 4 with respect to ANSI/ASHRAE Standard 140-2004.* s.l. : Equa Simulations AB, 2010.
24. Lapijoen päiväkot, suunnittelun tarjouspyyntö.
25. Käyttäjän tiedonanto. *Suunnittelukokous 1.*
26. Suomen RakMk D5. 2012. *Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2012. LUONNOS 14.3.2012.* s.l. : Ympäristöministeriö.
27. Gebwell Oy:n kotisivut. [Online] [Viitattu: 5. 4 2013.] <http://www.gebwell.fi>.
28. Suunnittelukäsikirjat. *Dimplex Oy:n kotisivut.* [Online] [Viitattu: 19. 4 2013.] <http://www.dimplex.de/fi/ladattavat/suunnittelukaesikirjat.html>.
29. SFS-EN 14511-2. *AIR CONDITIONERS, LIQUID CHILLING PACKAGES AND HEAT PUMPS WITH ELECTRICALLY DRIVEN COMPRESSORS FOR SPACE HEATING AND COOLING. PART 2: TEST CONDITIONS.* s.l. : Suomen standardisoimisliitto SFS, 2012.



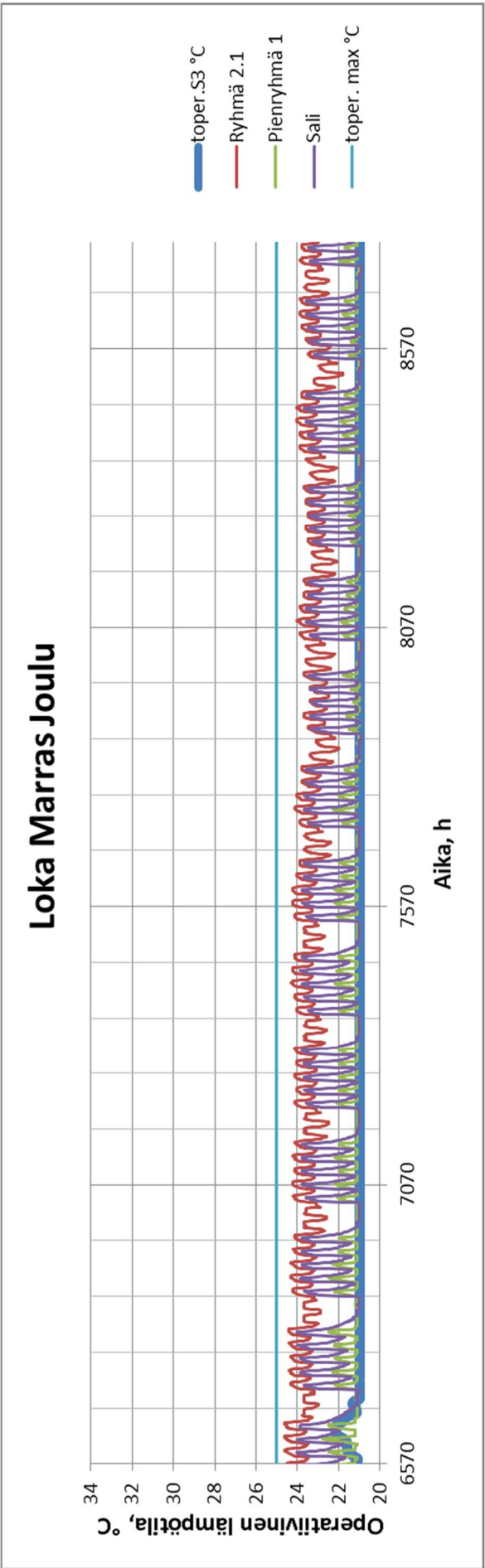
Kuva 7.1 Operatiivinen lämpötila ja tavoitetasot



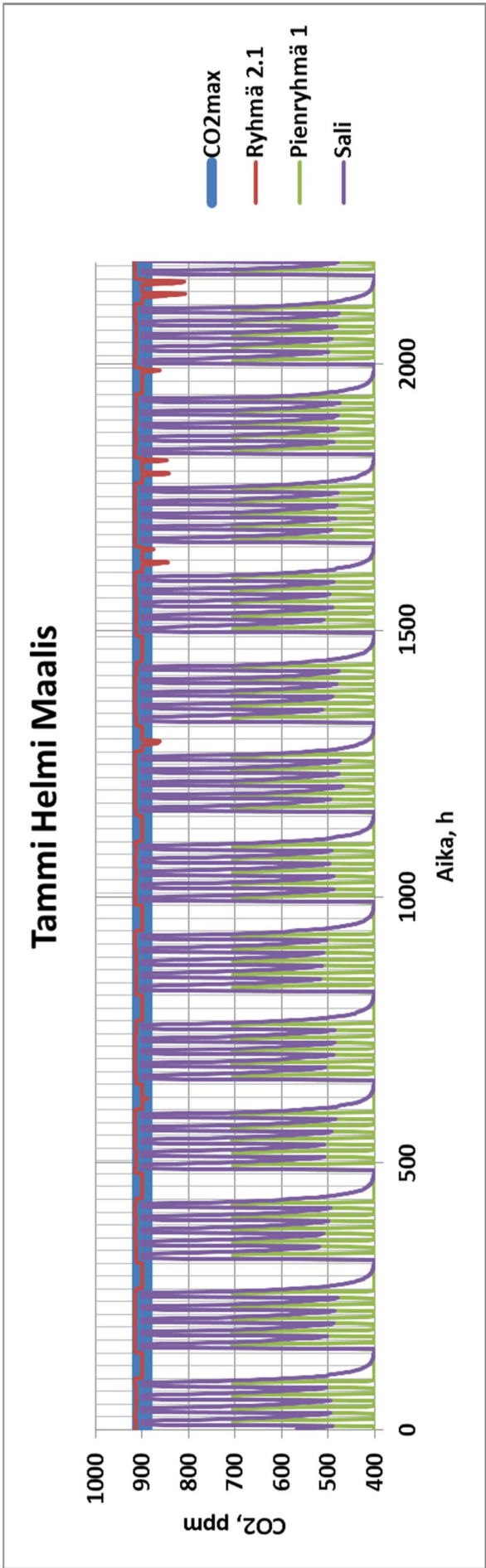
Kuva 7.5 Operatiivinen lämpötila ja tavoitetasot



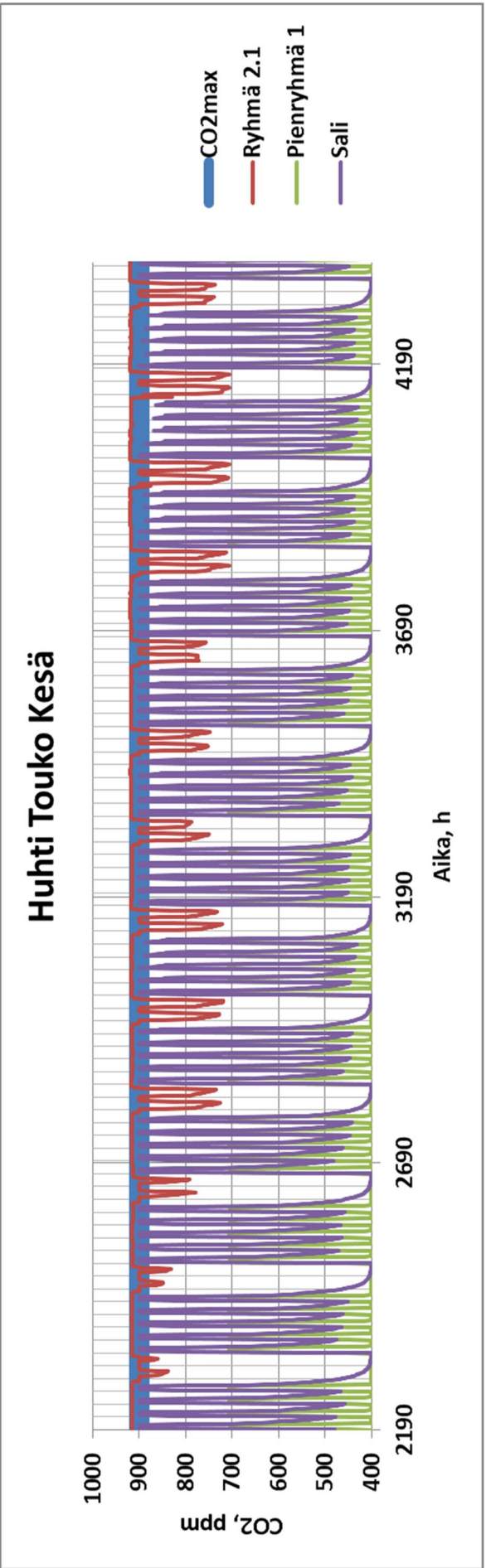
Kuva 7.2 Operatiivinen lämpötila ja tavoitetasot



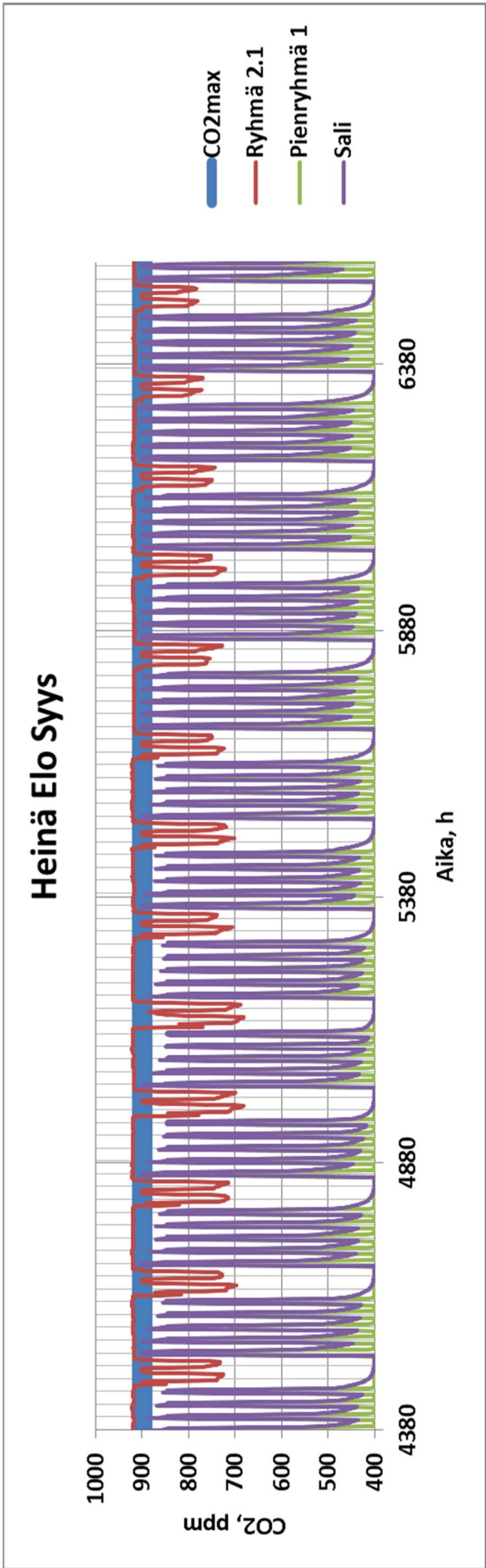
Kuva 7.6 Operatiivinen lämpötila ja tavoitetasot



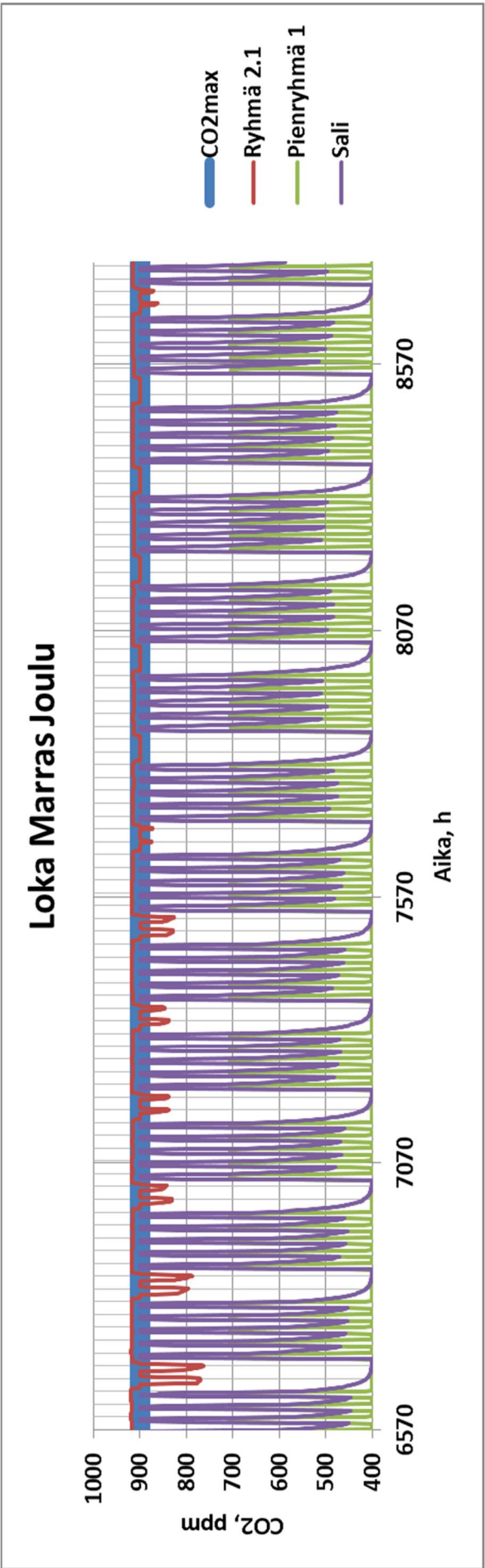
Kuva 7.3 CO₂-pitoisuus ja S2-luokan mukainen yläraja



Kuva 7.7 CO₂-pitoisuus ja S2-luokan mukainen yläraja



Kuva 7.4 CO₂-pitoisuus ja S2-luokan mukainen yläraja



Kuva 7.8 CO₂₁-pitoisuus ja S2-luokan mukainen yläraja

Eurajoen kunta

Lapijoen päiväkot

Energiaselvitys

JoK / 22.4.2013

SISÄLLYSLUETTELO

1	Johdanto	1
2	Kohde	2
3	Kesäajan huonelämpötilat	3
3.1	Lähtötiedot	3
3.2	Ryhmä 2.1	4
3.3	Pienryhmä 1	5
3.4	Sali	6
3.5	Tulokset	7
4	Tasauslaskenta ja lämpöhäviöiden määräysten mukaisuus	8
5	Kokonaisenergiankulutus	8
5.1	Lähtötiedot	8
5.1.1	Yleiset tiedot	8
5.1.2	Vuotoilma	8
5.1.3	Kylmäsiilat	9
5.1.4	Ikkunat	9
5.1.5	Ilmanvaihto	9
5.1.6	Lämmin käyttövesi	10
5.1.7	Käytön aikataulut	10
5.2	Tulokset	11
5.2.1	Yleiset tiedot	11
5.2.2	Ostoenergiankulutusraportti	11
5.2.3	Kuukausittainen ostoenergiankulutus	12
5.2.4	Kuukausittainen kokonaisenergia	12
6	Tehot	14
7	Energiatodistus	15

Liitteet

Tasauslaskenta Lapijoen päiväkot
Energiatodistus 2010 Lapijoen päiväkot

Versio / pvm	Tarkastaja	Hyväksyjä	Huomautukset / Muutokset

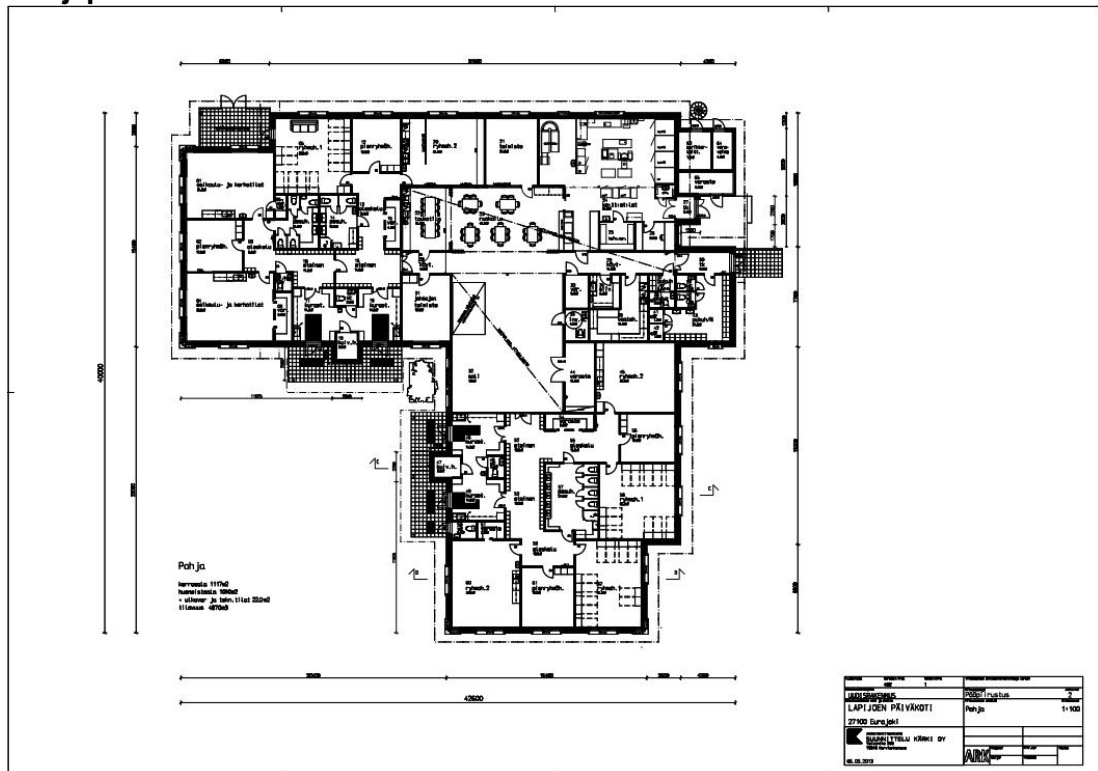
1 Johdanto

Tämä raportti on RakMk D3 (2012) mukainen rakennuslupahakemukseen liitettävä energiaselvitys. Selvitys tehdään Eurajoen kunnalle Eurajoelle rakennettavasta Lapijoen päiväkodista. Selvitykseen liittyvät laskelmat suoritetaan simuloimalla Equa Simulations Oy:n IDA ICE-ohjelmistolla ja ympäristöministeriön taulukkolaskentatyökaluilla.

2 Kohde

Kohteen nimi	Lapijoen päiväkot
Paikka	Eurajoki
Kerrosala	1147 m ²
Kerrokset	Yksikerroksinen + IVKH ullakolla
Perustus	Maavarainen laatta
Runko	Puu
Verhous	Tiili
Katto	Konesaumattu pelti
Osapuolet	
Rakennuttaja	Eurajoen kunta
Rakennuttaminen ja valvonta	Pöyry CM Oy
Pääsuunnittelija/Arkkitehti	Ark tsto Suunnittelu KÄRKI Oy
Rakennesuunnittelu	Ins.tsto L & U Oy
LVIA-suunnittelu	Rejlers Oy
Sähkösuunnittelu	Karawatski Oy
Talotekniikka	
Lämmitysmuoto	Maalämpöpumppu + aurinkokeräimet
Lämmönjako	Lattialämmitys
Ilmanvaihto	Koneellinen tulo ja poisto
Sisäilmaluokka 2008	ilmavirrat S2, lämpötilat S3

Pohjapiirustus



3 Kesäajan huonelämpötilat

3.1 Lähtötiedot

Yleistiedot

Tarkastelujakso	01.06.2012 – 31.08.2012
Sää ja sijainti	Hki-Vantaa_Ref_2012.prn, Helsinki

Tarkasteltavat tilat

	Kuvaus
Ryhmä 2.1	Ryhmätila, vuorohoito-osasto
Pienryhmä 1	Pienryhmätila, esikoulu
Sali	Juhla-/Liikuntasali

Rakennus

Käyttötarkoitus	Päiväkot
Muoto	Arkkitehdin piirustukset 16.04.2013
Kerrosala	1147 m ²

Rakenteet

Rakennetyypit	Rakennesuunnittelijan piirustukset 20.02.2013
---------------	---

Talotekniikka

Ilmanvaihtojärjestelmä	Koneellinen tulo-poisto, tuloilman jäähdytys, 3 konetta
Lämmöntalteenoton ohjaus	Ohitetaan kesällä
Jälkilämmityspatteri	Asetusarvo 16,0°C
Tuloilmalämpeneminen ilmanvaihtojärjestelmässä	+0,5 °C
Lämmönjakotapa	Lattialämmitys 40/30
Lämpötilan ohjaus	Huonekohtaiset termostaatit
Muut järjestelmät	Ei muita vaikuttavia järjestelmiä

3.2 Ryhmä 2.1

Yleiset tiedot

Tilan käyttötarkoitus	Ryhmätila, vuorohoito-osasto
Ikkunapinta-ala	3 m ²
Ikkunan osuus lattia-alasta	9%

Ikkunoiden ominaisuudet

U-arvo	1 W/m ² , K
g-arvo	0,2
Karmin osuus pinta-alasta	10%
Verhot	-

Muuta

Auringonsuojaus	Sälekaihtimet uloimpien lasien välissä
Varjostukset	-

Sisäiset kuormat

Valaistus	18 W/m ² (D3 2012)
Laitteet	8 W/m ² (D3 2012)
Ihmiset	0,2 hlö./m ² (D3 2012)
Käyttöaika	Päiväkoti (D3 2012)
Käyttöaste	60% (D3 2012)

Kesäajan huonelämpötilan jäähdytysrajan astetuntiyllitys D3 (2012)

Jäähdytysraja	25 °C
Yllitys	0 °Ch
Määräysten mukainen	Kyllä / Ei

3.3 Pienryhmä 1

Yleiset tiedot

Tilan käyttötarkoitus	Pienryhmätila, esikoulu
Ikkunapinta-ala	3 m ²
Ikkunan osuus lattia-alasta	17%

Ikkunoiden ominaisuudet

U-arvo	1 W/m ² , K
g-arvo	0,2
Karmin osuus pinta-alasta	10%
Verhot	-

Muuta

Auringonsuojaus	Sälekaihtimet uloimpien lasien välissä
Varjostukset	-

Sisäiset kuormat

Valaistus	18 W/m ² (D3 2012)
Laitteet	8 W/m ² (D3 2012)
Ihmiset	0,2 hlö./m ² (D3 2012)
Käyttöaika	Päiväkotitoiminta (D3 2012)
Käyttöaste	60% (D3 2012)

Kesäajan huonelämpötilan jäähdytysrajan asetuntiylitys D3 (2012)

Jäähdytysraja	25 °C
Ylitys	0 °Ch
Määräysten mukainen	Kyllä / Ei

3.4 Sali

Yleiset tiedot

Tilan käyttötarkoitus	Juhla-/Liikuntasali
Ikkunapinta-ala	7 m ²
Ikkunan osuus lattia-alasta	7%

Ikkunoiden ominaisuudet

U-arvo	1 W/m ² , K
g-arvo	0,2
Karmin osuus pinta-alasta	10%
Verhot	-

Muuta

Auringonsuojaus	Sälekaihtimet uloimpien lasien välissä
Varjostukset	-

Sisäiset kuormat

Valaistus	18 W/m ² (D3 2012)
Laitteet	8 W/m ² (D3 2012)
Ihmiset	0,2 hlö./m ² (D3 2012)
Käyttöaika	Päiväkoti (D3 2012)
Käyttöaste	60% (D3 2012)

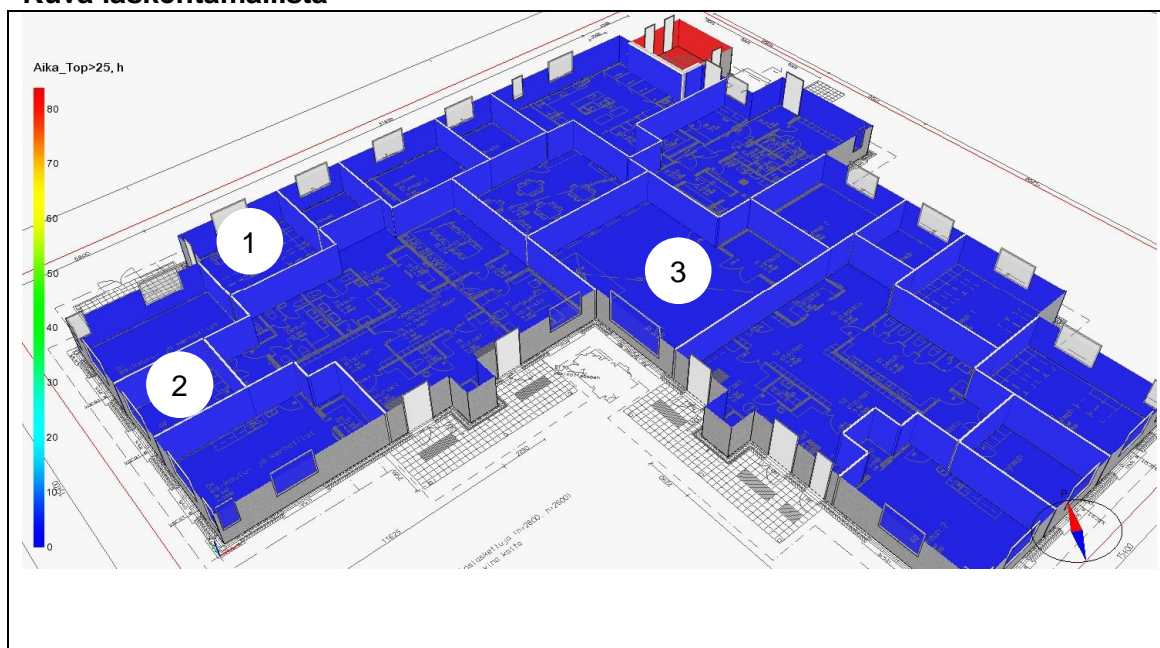
Kesäajan huonelämpötilan jäähdytysrajan asetuntiylitys D3 (2012)

Jäähdytysraja	25 °C
Ylitys	0 °Ch
Määräysten mukainen	Kyllä / Ei

3.5 Tulokset

Num.		Astetuntiluvun ylitys °Ch
1	Ryhmä 2.1	0
2	Pienryhmä	0
3	Sali	0

Kuva laskentamallista



Havainnot

D3 2012 vaatimus kesäajan huonelämpötiloille standardikuormilla laskettuna täyttyisi pelkällä tuloilman jäähdytyksellä ilman auringonsuojausta tai auringonsuojalaseja, mutta suunnittelulla käytöllä auringonsuojausta suositellaan jäähdytystehon riittävyyden varmistamiseksi.

Laskentatyökalu	IDA ICE 4.5	
Päiväys	Tekijän allekirjoitus	Nimenselvennys
22.04.2013		Joni Koivukorpi

4 Tasauslaskenta ja lämpöhäviöiden määräysten mukaisuus


Kohde täyttää määräykset. Taulukkolaskentatyökalun tuloste liitteenä.

5 Kokonaisenergiankulutus

5.1 Lähtötiedot

Rakennustyyppi	Luokka 6, Päiväkoti
E-luvun enimmäisarvo	170 kWh/m ²

5.1.1 Yleiset tiedot

 SIMULATION TECHNOLOGY GROUP		Sisäänsyöttötiedot	
Projekti		Rakennus	
		Mallin lattia-ala	1147.0 m ²
Asiakas		Mallin tilavuus	3593.7 m ³
Vastuuhenkilö	Joni Koivukorpi	Mallin maaperän pinta-ala	1030.3 m ²
Sijainti	Helsinki	Mallin vaipan ala	2810.3 m ²
Säätiedosto	HKI-Vantaa_Ref_2012	Ikkuna/Vaippa	2.8 %
Tapaus	Lapijoki ver1.1.2.1.2 ENERGIANKULUTUS D3 2012 ESBO PLANT 1	Keskimääräinen U-arvo	0.1596 W/(K·m ²)
Simuloitu	19.4.2013 12:51:06	Vaipan alan suhde tilavuuteen	0.782 m ² /m ³

5.1.2 Vuotoilma

Kiinteä vuotoilmamäärä				54.166 l/s
Rakennuksen vaippa	Ala [m ²]	U [W/(K m ²)]	U*A [W/K]	% kokon.
Ulkoseinät	548.08	0.16	85.33	19.03
Katto	1121.16	0.09	100.57	22.42
Alapohja	1030.26	0.09	99.14	22.10
Ikkunat	78.55	1.00	78.67	17.54
Ulko-ovet	32.25	1.06	34.15	7.62
Kylmäsillat			50.66	11.29
Summa ¹ /painotettu keskiarvo ²	2810.30 ¹	0.16 ²	448.52 ¹	100.00

5.1.3 Kylmäsillat

Kylmäsillat	Pinta-ala tai pituus	Keskim lämmönjohtuvuus	Summa [W/K]
Ulkoseinä - Välipohja	46.18 m	0.050 W/(K m)	2.309
Ulkoseinä - Sisäseinä	109.52 m	0.000 W/(K m)	0.000
Ulkoseinä - Ulkoseinä	50.43 m	0.040 W/(K m)	2.017
Ikkuna ympärysmitta	196.40 m	0.070 W/(K m)	13.748
Ulko-ovi ympärysmitta	80.80 m	0.070 W/(K m)	5.656
Katto - Ulkoseinä	216.32 m	0.050 W/(K m)	10.816
Alapohja - Ulkoseinä	169.61 m	0.100 W/(K m)	16.961
Parvekelaatta - Ulkoseinät	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Alapohja - Sisäseinä	403.64 m	0.000 W/(K m)	0.000
Katto- Sisäseinä	383.29 m	0.000 W/(K m)	0.000
Ulkoseinä - Sisänurkka	21.20 m	-0.040 W/(K m)	-0.848
Ulkoseinät	2776.78 m ²	0.000 W/(K m ²)	0.000
Ylimääräiset häviöt	-	-	0.000
Summa	-	-	50.659

5.1.4 Ikkunat

Ikkunat	Ala [m ²]	U lasi [W/(K m ²)]	U karmi [W/(K m ²)]	U ikkuna [W/(K m ²)]	U*A [W/K]	g kokonaissäteilyn läpäisykerroin
ENE	15.75	1.00	1.00	1.00	15.75	0.21
SSE	19.80	1.00	1.00	1.00	19.80	0.21
WSW	22.60	1.00	1.00	1.00	22.60	0.21
NNW	20.40	1.00	1.06	1.01	20.52	0.21
Summa ¹ /painotettu keskiarvo ²	78.55 ¹	1.00 ²	1.02 ²	1.00 ²	78.67 ¹	0.21 ²

5.1.5 Ilmanvaihto

Ilmanvaihtokone	Paineenkorotus tulo/poisto [Pa/Pa]	Puhaltimen hyötysuhde tulo/poisto [-/-]	Järjestelmän SFP-luku [kW/(m ³ /s)]	Lämmöntalteenoton lämpötilasuhde / minimi jäteilmän lämpötila [-/C]
TK01 Yleiset	726.00/556.00	0.66/0.75	1.10/0.74	0.59/1.00
TK02 Sali ja keskialue	587.00/459.00	0.65/0.71	0.90/0.65	0.57/1.00
TK03 Keittiö	588.00/588.00	0.66/0.66	0.89/0.89	0.52/1.00

5.1.6 Lämmin käyttövesi

LKV	L/(lattia-m ² ,vuosi)	Summa, [l/s]
	188.000	0.007

5.1.7 Käytön aikataulut

Läsnäoloaikataulut tiloissa (Klikkaa laajentaaksesi / pienentääksesi)	
Aikataulun nimi	Osuus tiloista, jossa tämä aikataulu (% :ia tilojen kokonaisalasta).
Kayttoaste D3 2012, opetusrakennus	100.00

Valaistusaikataulut tiloissa (Klikkaa laajentaaksesi / pienentääksesi)	
Aikataulun nimi	Osuus tiloista, jossa tämä aikataulu (% :ia tilojen kokonaisalasta).
Valaistuksen kayttoaste D3 2012, opetusrakennus	100.00


Laitteaikataulut tiloissa (Klikkaa laajentaaksesi / pienentääksesi)	
Aikataulun nimi	Osuus tiloista, jossa tämä aikataulu (% :ia tilojen kokonaisalasta).
Laitteiden kayttoaste D3 2012, opetusrakennus	100.00

Säädön asetusarvot tiloissa (Klikkaa laajentaaksesi / pienentääksesi)	
Asetusarvon Maks/Min	Osuus tiloista, jossa nämä asetusarvot (% :ia tilojen kokonaisalasta).
25.00/21.00	98.23
17.00/5.00	1.77

5.2 Tulokset

Energiamuotokertoimilla painotetuksi kokoenergiankulutukseksi saatiin 151227 kWh/a, jolloin rakennuksen E-luvuksi saadaan 129 kWh/m², a. Rakennustyyppikohtainen E-luku vaatimus 170 kWh/m² täyttyy.

5.2.1 Yleiset tiedot

 SIMULATION TECHNOLOGY GROUP		Energia raportti	
Projekti		Rakennus	
		Mallin lattia-ala	1147.0 m ²
Asiakas		Mallin tilavuus	3593.7 m ³
Vastuuhenkilö	Joni Koivukorpi	Mallin maaperän pinta-ala	1030.3 m ²
Sijainti	Helsinki	Mallin vaipan ala	2810.3 m ²
Säätiedosto	HKi-Vantaa_Ref_2012	Ikkuna/Vaippa	2.8 %
Tapaus	Lapijoki ver1.1.2.1.2 ENERGIANKULUTUS D3 2012 ESBO PLANT 1	Keskimääräinen U-arvo	0.1596 W/(K·m ²)
Simuloitu	2.5.2013 17:27:10	Vaipan alan suhde tilavuuteen	0.782 m ² /m ³

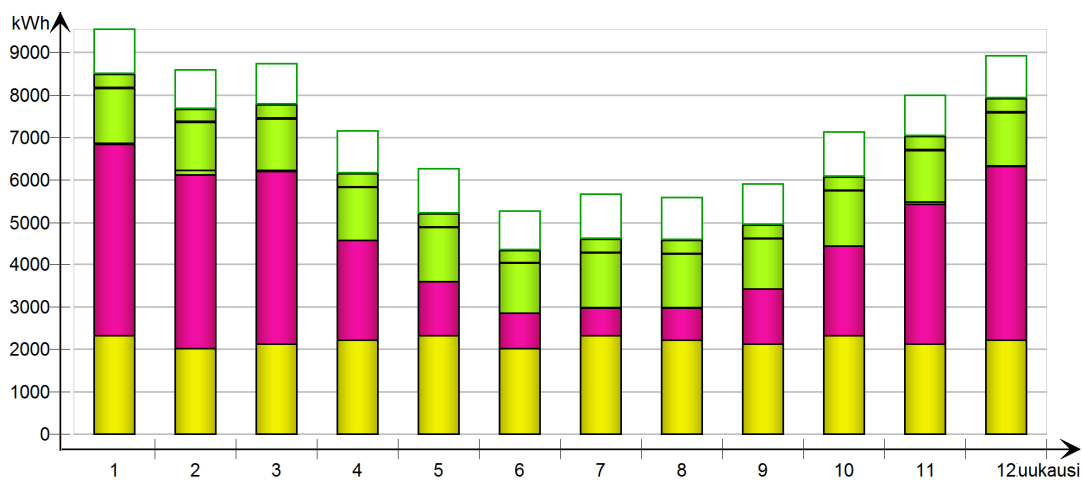
5.2.2 Ostoenergiankulutusraportti

	Ostoenergiankulutus		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m ²	kW	kWh	kWh/m ²
Valaistus, kiinteistö	26309	22.9	12.61	44725	39.0
Jäähdytys	0	0.0	0.0	0	0.0
Maalämpöpumppu, lämmitys	29445	25.7	51.54	50057	43.6
Maalämpöpumppu, jäähdytys	37	0.0	1.09	63	0.1
Lisäenergia	221	0.2	21.17	375	0.3
LVI Puhaltimet	14915	13.0	5.24	25356	22.1
LVI pumput	237	0.2	0.19	403	0.4
LVI Lämpö	3667	3.2	0.42	6233	5.4
LVI Jäähdytys	307	0.3	0.04	522	0.5
Yhteensä, Kiinteistösähkö	75138	65.5		127734	111.4
Yhteensä	75138	65.5		127734	111.4
Laitteet, asukas	11693	10.2	5.6	19878	17.3
Yhteensä, Asukkaan sähkö	11693	10.2		19878	17.3
Yhteensä	86831	75.7		147612	128.7

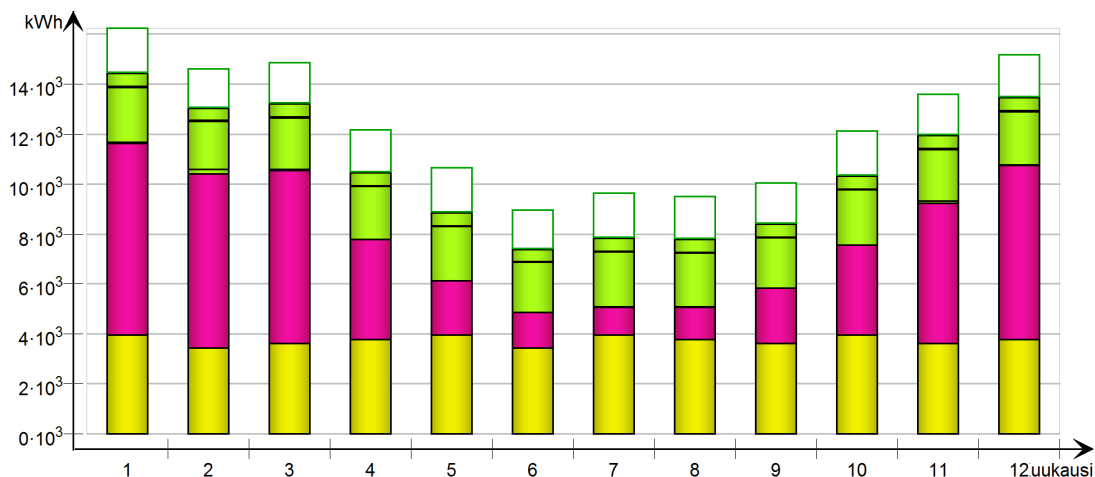
Aurinkolämpöjärjestelmä

Laskentamenetelmä	Aurinko-opas 2012
Tuotto	7388 kWh (huomioitu kokonaisenergian kulutuksessa)

5.2.3 Kuukausittainen ostoenergiankulutus



5.2.4 Kuukausittainen kokonaisenergia



Kuukausi	Tilalämmitys	Tilajäähdytys	Lämmitys IV-koneella	Jäähdytys IV-koneella	Lämmin käyttövesi
1	7627.0	0.0	5268.2	0.0	585.1
2	6897.0	0.0	5023.1	-0.0	511.5
3	6882.0	0.0	4628.9	-0.0	546.0
4	4360.0	0.0	2117.4	19.3	562.9
5	2508.0	0.0	421.2	367.0	587.0
6	1551.0	0.0	62.4	732.9	524.1
7	961.8	0.0	4.1	2464.0	587.1
8	1267.0	0.0	37.0	2124.0	567.6
9	2761.0	0.0	425.6	74.6	543.5
10	4419.0	0.0	1442.1	0.0	586.7
11	6063.0	0.0	3399.8	0.0	541.6
12	7162.0	0.0	4424.6	-0.0	566.3
Yhteensä	52458.8	0.0	27254.4	5781.8	6709.4

Kiinteistöjä sähkö									
Valaistus, kiinteistö		Jäähdytys		Maalämpöpumppu, lämmitys		Maalämpöpumppu, jäähdytys		Lisäenergia	
(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)
2319.0	3942.3	0.0	0.0	4522.0	7687.4	0.6	1.0	39.3	1288.0
2016.0	3427.2	0.0	0.0	4107.0	6981.9	0.8	1.3	182.6	1132.0
2117.0	3538.9	0.0	0.0	4088.0	6949.6	0.6	0.9	43.3	1208.0
2217.0	3768.9	0.0	0.0	2372.0	4032.4	0.4	0.6	0.6	1245.0
2318.0	3940.6	0.0	0.0	1268.0	2155.6	1.7	2.8	0.0	1305.0
2016.0	3427.2	0.0	0.0	833.4	1416.8	2.6	4.3	0.0	1177.0
2320.0	3944.0	0.0	0.0	645.6	1104.3	13.8	23.4	0.0	1319.0
2219.0	3772.3	0.0	0.0	750.2	1275.3	15.1	25.6	0.0	1280.0
2116.0	3597.2	0.0	0.0	1293.0	2198.1	0.3	0.5	0.0	1212.0
2317.0	3938.9	0.0	0.0	2129.0	3619.3	0.3	0.6	0.0	1299.0
2116.0	3597.2	0.0	0.0	3320.0	5644.0	0.5	0.9	89.9	1200.0
2218.0	3770.6	0.0	0.0	4113.0	6982.1	0.5	0.9	19.3	1250.0
26309.0	44725.3	0.0	0.0	29445.2	50056.8	37.1	63.0	375.4	14915.0
									25355.5

Kuukausi	Kiinteistöjä sähkö						
	LVI pumpput		LVI Lämpö		LVI Jäähdytys		Asukkaan sähkö
	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	Laitteet, asukas (kWh)
1	25.3	43.1	311.4	529.4	26.1	1031.0	1752.7
2	23.0	39.2	281.3	478.2	23.5	896.1	1523.4
3	23.8	40.5	311.4	529.4	26.1	1031.0	1599.4
4	18.7	31.8	301.4	512.4	25.2	985.2	1674.8
5	15.4	26.2	311.4	529.4	26.1	1031.0	1751.0
6	14.2	24.2	301.4	512.4	25.2	985.2	1523.5
7	18.7	31.8	311.4	529.4	26.1	1031.0	1752.7
8	18.0	30.7	311.4	529.4	26.1	986.1	1676.4
9	14.9	25.3	301.4	512.4	25.2	940.4	1598.7
10	18.8	32.0	311.4	529.4	26.1	1031.0	1751.0
11	21.9	37.2	301.4	512.4	25.2	940.6	1599.0
12	24.2	41.1	311.4	529.4	26.1	985.6	1675.5
Yhteensä	237.1	403.1	3666.7	6233.4	306.8	11693.0	19878.1

6 Tehot

Mitoittavat tilanteet

Lämmitys	-26 °C (D3 2012, vyöhyke I)
Jäähdytys	1.8.2012 (Hki-Vantaa_Ref_2012), suunniteltu käyttö

Lämmitys

Lattialämmitys	39 kW
IV-koneen lämmityspatteri	125 kW
Lämmitys yhteensä	164 kW

Jäähdytys

Jäähdytysverkosto	-
IV-koneen jäähdytyspatteri	116 kW
Jäähdytys yhteensä	116 kW

Päiväys	Tekijän allekirjoitus	Nimenselvennys
22.04.2013		Joni Koivukorpi

7 Energiatodistus

Energiatodistus tehdään ympäristöministeriön asetuksen 765/2007 mukaan.
Energiatodistus liitteenä.

Rakennuskohde	Lapijoen Päiväkoti
Rakennuslupatunnus	
Rakennustyyppi	Päiväkoti
Pääsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	Joni Koivukorpi
Päiväys	27.3.2013
Tulos: Suunnitteluratkaisu	TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET

Rakennuksen laajuustiedot

Rakennustilavuus	5 450 rak-m ³
Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä	1 118 m ²
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	1 096 m ²
Lämmitetty nettoala, puoliämpimät tilat	22 m ²
Rakennusluokka (1 - 9)	6
Rakennuksen kerrosmäärä	2 kerrosta

Laskentatuloksia

Julkisivupinta-ala on 659 m²
Ikkunapinta-ala on 7 % maanpäällisestä kerrostasosalasta
Ikkunapinta-ala on 12 % julkisivun pinta-alasta
Lämpöhäviö on 93 % vertailutasosta (lämpimät tilat)
Lämpöhäviö on 100 % vertailutasosta (puoliämpimät tilat)

Perustiedot						Lämpöhäviöiden tasaus	
RAKENNUSOSAT	Pinta-alat, m² [A]		U-arvot, W/(m² K) [U]			Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{joht} = A · U]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Enimmäis- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimät tilat							
Ulkoseinä	427	516	0.17	0.60	0.15	72.6	77.4
Hirsiseinä			0.40	0.60		-	-
Yläpohja	1 100	1 100	0.09	0.60	0.09	99.0	99.0
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0.09	0.60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0.17	0.60		-	-
Alapohja (maanvastainen) ²⁾	1 010		0.16	0.60	0.09	161.6	90.9
Muu maanvastainen rakennusosa ²⁾			0.16	0.60		-	-
Ikkunat	167.7	79.0	1.00	1.80	1.00	167.7	79.0
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ³⁾	26.0		1.00	1.80	1.00	26.0	26.0
Kattoikkunat			1.00	1.80		-	-
Kattovalokuvut			1.00	2.00		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	2 731	2 731				526.9	372.3
Puolilämpimät tilat tai määräaikaiset rakennukset							
Ulkoseinä	31	31	0.26	0.60	0.26	8.1	8.1
Hirsiseinä			0.60	0.60		-	-
Yläpohja	22	22	0.14	0.60	0.14	3.1	3.1
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0.14	0.60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0.26	0.60		-	-
Alapohja (maanvastainen) ²⁾	22		0.24	0.60	0.24	5.3	5.3
Muu maanvastainen rakennusosa ²⁾			0.24	0.60		-	-
Ikkunat			1.40	2.80		-	-
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ³⁾	7.0		1.40	2.80	1.40	9.8	9.8
Kattoikkunat			1.40	2.80		-	-
Kattovalokuvut			1.40	2.80		-	-
Puolilämpimät tilat yhteensä	82	82				26.2	26.2
VAIPAN ILMAVUODOT	Ilmanvuotoluku, m³/(h m²) [q ₅₀]		Vuotoilmavirta, m³/s [q _{v, v} = q ₅₀ / 24 · A/3600]			Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{vuotoilma} = 1200 · q _{v, v}]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo		Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Vuotoilma							
Lämpimät tilat	2.0	4.0	0.0632	0.1264		75.9	151.7
Puolilämpimät tilat	2.0	2.0	0.0019	0.0019		2.3	2.3
ILMANVAIHTO	Poistoilmavirta, m³/s [q _{v, p}]		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [h _a]			Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{iv} = 1200 · q _{v, p} · (1-h _a)]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo		Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto							
Lämpimät tilat	3.440		45	48		2 270.4	2 146.6
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0			-	-
Puolilämpimät tilat			45			-	-
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta	0.022		0			26.4	26.4
						Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H _{joht} + H _{vuotoilma} + H _{iv}]	
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus						Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä						2 873	2 671
Puolilämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä						55	55

- ¹⁾ Ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämmönläpäisykertoimen laskennassa voidaan ottaa huomioon ryömintätilan ilman ulkoilmaa korkeampi vuotuinen keskilämpötila, jos ryömintätilan tuuletusaukkojen määrä on enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta. Tällöin osan C4 ohjeen mukaan yksityiskohtaisesti lasketun U-arvon sijaan voidaan käyttää rakenteen U-arvoa kerrottuna kertoimella 0,9. Jos ryömintätilan tuuletusaukkojen määrä on yli 8 promillea alapohjan pinta-alasta, alapohja lasketaan ulkoilmaan rajoittuvana.
- ²⁾ Maanvastaisen lattia- tai seinärakenteen lämmönläpäisykerroin voidaan osan C4 mukaisesti laskea yksinkertaistetusti kertomalla pelkän lattia- tai seinärakenteen lämmönläpäisykerroin kertoimella 0,9. Kerroin ottaa huomioon maan lämmönvastuksen. Yksinkertaistettu menetelmä ei ota huomioon rakennuksen geometrian vaikutusta.
- ³⁾ Ulko-oviin ja tuuletusluukuihin sisältyvät myös savunpoisto-, uloskäynti- ja huoltoluukut sekä muut vastaavat luukut.

Rakennuskohde	Lapijoen Päiväkoti
Rakennuslupatunnus	

Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista (osa D3)**Pinta-alat**

Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta

kyllä	ei
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisussa

- lämpimissä tiloissa

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-------------------------------------	--------------------------

- puolilämpimissä tiloissa

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-------------------------------------	--------------------------

Rakennusosien U-arvot

U-arvot ovat enintään enimmäisarvojen suuruisia

kyllä	ei
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Rakennusvaipan ilmanpitävyys

Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} suunnittelu-arvo on enintään enimmäisarvon suuruinen

- lämpimissä tiloissa

- puolilämpimissä tiloissa

kyllä	ei	Enimmäisarvo	Suunnittelu-arvo
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	4.00
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	2.00

Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus

Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen

- lämpimissä tiloissa

- puolilämpimissä tiloissa

kyllä	ei	Vertailuarvo	Suunnittelu-arvo
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2 873 W/K	2 671 W/K
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	55 W/K	55 W/K

Tarkistuslistan yhteenveto

Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset

kyllä	ei
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Lisäselvitykset**Rakennuksen ilmanpitävyys**

Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa käytetään rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} suunnittelu-arvoa.

Suunnittelu-arvon valinnasta on esitettävä selvitys. Rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50} saa olla enintään $4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$, mutta ilmanvuotoluku voi ylittää tämän arvon, jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä.

Jos ilmanpitävyyttä ei osoiteta mittaamalla tai muulla menettelyllä, rakennusvaipan ilmanvuotolukuna käytetään arvoa $4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$.

Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde

Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisestä on esitettävä selvitys. Rakennuksen ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde voidaan määrittää lämmöntalteenottolaitteen valmistajan ilmoittaman varmennetun vuosihyötysuhteen perusteella. Ohjeita vuosihyötysuhteen määrittämiseksi esitetään ympäristöministeriön monisteessa 122 ja tasauslaskentaoppaassa. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään osassa D3/2012 esitetyn säävyöhykke I:n säätiedoilla (Helsinki-Vantaa).

ENERGIATODISTUS

Rakennus

Rakennustyyppi:

Muu sosiaalitoimen rakennus

Valmistumisvuosi: Uudisrakennus









Rakennustunnus:

Osoite:

Lapijoen päiväkot
27100 EURAJOKI

Energiatodistus on annettu

- ☒ rakennuslupamenettelyn yhteydessä ja perustuu laskennalliseen kulutukseen
☐ energiakatselmuksen yhteydessä ja perustuu toteutuneeseen kulutukseen
☐ erillisen tarkastuksen yhteydessä ja perustuu toteutuneeseen kulutukseen

ET-luku	Vähän kuluttava	Rakennuksen ET-luokka
- 140		
141 - 180		
181 - 230		
231 - 300		
301 - 390		
391 - 500		
501 -		
Paljon kuluttava		

Rakennuksen energiatehokkuusluku (ET-luku, kWh/brm²/vuosi):

165

Energiatehokkuusluvun luokitteluasteikko:

Päiväkodit

Todistuksen antaja:

Pentti Kärki
Ark tsto Suunnittelu KÄRKI Oy

Allekirjoitus:

Todistuksen tilaaja:

Eurajoen kunta

Todistuksen antamispäivä:

3.5.2013

Viimeinen voimassaolopäivä:

3.5.2017

RAKENNUKSEN ENERGIAANKULUTUS

Energiatohokkuusluvun laskenta

Lämmitysenergian kulutus *	147 608 kWh/vuosi
Kiinteistösähkön kulutus	56 478 kWh/vuosi
Jäähdytysenergian kulutus *	4 766 kWh/vuosi
Yhteensä	208 852 kWh/vuosi
Rakennuksen bruttoala	1 266 brm ²
Rakennuksen energiatohokkuusluku	165 kWh/brm²/vuosi

* Uudisrakennuksen energiankulutus lasketaan käyttäen RakMk D5 Liite 1 säävyöhyke III (Jyväskylä-Luonetjärvi) mukaisia säätietoja.

Toteutuneet energian ja veden kulutukset

Kulutuskohde	Kulutus	Yksikkö	Vuosi
Lämmitysenergia			
Kiinteistösähkö			
Mitattu kiinteistösähkö		kWh	
Jäähdytysenergia			
Kaukojäähdytys		kWh	
Jäähdytys sähkö		kWh	
Vedenkulutus			
Kokonaiskulutus		m ³	
Lämpimän veden kulutus		m ³	

Toteutuneiden kulutusten muuntaminen energiatohokkuusluvun laskentaa varten

Vertailupaikkakunta:
Normaalivuoden lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla:
Vuoden lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla:
Paikkakuntakohtainen korjauskerroin Jyväskylään k2:
Lämmöntuottojärjestelmän hyötysuhde:

Rakennuksen sisäilmasto sekä ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmä

Painovoimainen ilmanvaihto	<input type="checkbox"/>	Ulkoilmaventtiilit	<input type="checkbox"/>
Koneellinen poistoilmanvaihto	<input type="checkbox"/>	Tuloilman suodatus	<input type="checkbox"/>
Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto	<input checked="" type="checkbox"/>	Lämmöntalteenotto	<input checked="" type="checkbox"/>
Lämmönjakotapa: Lattialämmitys		Jäähdytys	<input checked="" type="checkbox"/>
Ilmanvaihdon ilmapirrat on mitattu ja todettu riittäviksi vuonna			<input type="checkbox"/>
Ilmanvaihtojärjestelmä on puhdistettu ja tasapainotettu vuonna			<input type="checkbox"/>
Ilmastoinnin kylmälaitteiden kunto ja energiatohokkuus on tarkastettu vuonna			<input type="checkbox"/>
Lämmitysjärjestelmä on tasapainotettu vuonna			<input type="checkbox"/>

HUOMIOT JA TOIMENPIDE-EHDOTUKSET

Ulkoseinät ja ikkunat

Toimenpide-ehdotus	Arvioitu energiansäästö (kWh/vuosi)		
	Lämpö	Sähkö	Kylmä

Ylä- ja alapohja

Toimenpide-ehdotus	Arvioitu energiansäästö (kWh/vuosi)		
	Lämpö	Sähkö	Kylmä

Tilojen ja käyttöveden lämmitysjärjestelmät

Toimenpide-ehdotus	Arvioitu energiansäästö (kWh/vuosi)		
	Lämpö	Sähkö	Kylmä

Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmä

Toimenpide-ehdotus	Arvioitu energiansäästö (kWh/vuosi)		
	Lämpö	Sähkö	Kylmä

Valaistus, sähköiset erillislämmitykset ja muut järjestelmät

Toimenpide-ehdotus	Arvioitu energiansäästö (kWh/vuosi)		
	Lämpö	Sähkö	Kylmä

KAIKKIEN TOIMENPITEIDEN YHTEISVAIKUTUS

Arvioitu lämmitysenergian säästö		kWh/vuosi
Arvioitu kiinteistösähköenergian säästö		kWh/vuosi
Arvioitu jäähdytysenergian (kylmäenergian) säästö		kWh/vuosi
Rakennuksen energiatehokkuusluku kaikkien toimenpiteiden jälkeen	165	kWh/brm ² /v
Energiatehokkuusluokka kaikkien toimenpiteiden toteutuksen jälkeen		B

Lisämerkintöjä

Lisämerkintöjä